

ADAPTIVES STADTLICHT

Untersuchung einer sich an Passanten und Umwelt- bedingungen anpassenden LED-Beleuchtung urbaner Räume

Von der Fakultät für Architektur, Bauingenieurwesen und
Umweltwissenschaften der
Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig

zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

von: Dipl.-Ing. Jörg Baumeister
geboren am: 25.06.1962 in: Ludwigsburg

eingereicht am: 16.04.2007
mündliche Prüfung am: 20.07.2007

Referenten: Prof. Michael Szyszkowitz (Vorsitzender),
Prof. Gerhard Auer, Prof. Andreas Schulz

Druckjahr: 2007

Zusammenfassung

Für die öffentliche Beleuchtung ist seit der Markteinführung von Hochleistungs-LEDs im Jahre 2006 ein Wechsel zur LED-Technik absehbar. LEDs (Light-Emitting-Diodes) zeichnen sich durch hohe Effizienz und lange Lebensdauer aus, ermöglichen aber auch erstmals in der Lichtgeschichte eine stufenlose Modulation der Lichtintensität und Lichtfarbe. Daraus ergibt sich die Chance zu einer unmittelbaren Reaktion der Beleuchtung auf äussere Einflüsse - also zur Adaption.

Die vorliegende Untersuchung greift dieses Potential auf. Zuerst werden marktgängige Komponenten zur Detektion von Umweltbedingungen / Passanten mit LED-Steuerungskomponenten kombiniert, dann die jeweiligen Verbindungen hinsichtlich ihrer Verbesserungs-Möglichkeiten für die Stadtbeleuchtung sondiert. Das Resultat: innovative Anwendungen für die öffentliche Beleuchtung.

So wirkt die neuartige Anwendung „Bioadaption“ mittels Rotfärbung gegen vermutete Gesundheitsstörungen durch Kunstlicht wie z. B. einer Erhöhung des Krebsrisikos. Gleichzeitig schränkt es massgeblich ökologische Schäden ein, die durch Lichtemissionen erzeugt werden.

Die Anwendung „Positionsadaption“ beleuchtet die direkte Passanten-Umgebung, sodass an Stellen ohne Beleuchtungsbedarf die Helligkeit erheblich gesenkt werden kann. Gemeinsam mit weiteren Adaptionen, die die Alterung der Leuchtmittel, die Umgebungshelligkeit und die Witterungsbedingungen berücksichtigen, ergeben sich weitreichende Vorteile:

Eine Kombination dieser Anwendungen führt zu Energie-Reduzierungen um bis zu 70%. Erhebliche finanzielle Einsparungen und nachhaltige CO2-Entlastungen sind die Folge. Gleichzeitig verringern sich die Licht-Belastungen für Mensch und Umwelt. Ökonomie und Ökologie stehen deshalb bei Adaptivem Stadtlicht nicht im Widerspruch, sondern ergänzen sich. Darüber hinaus wird eine Erhöhung der Sicherheit durch eine aktive Signalisierung der Verkehrsteilnehmer erwartet. II

Aus gestalterischer Sicht ermöglicht Adaptives Stadtlicht die Wiedereinführung einer natürlichen Nächtlichkeit. Deren Dunkelheit verändert sich infolge der adaptiven Lichtdynamik fliegend und avanciert zu einem neuen Parameter der Stadtgestaltung.

Aus der Idee eines sich anpassenden Stadtlichtes ergeben sich so viele Vorteile, dass sich Adaptives Stadtlicht als Grundlage für die nächste Stadtlicht-Generation empfiehlt.

Abstract

Since high-power LEDs first came on the market in 2006, there has been a general switchover to LEDs for public lighting purposes. LEDs (light-emitting diodes) are highly efficient and have a long service life, and, moreover, for the first time in the history of urban lighting enable modulation of light intensity and light color at will. In other words, the lighting can respond directly to outer influences, and thus adapt.

III The present study addresses this potential: First, it combines customary components on the market for detecting environmental conditions / passers-by with LED control components, and then explores the respective combinations to assess in what way they could improve lighting in cities. The result: innovative applications for public lighting made up of familiar components.

Thus, the “Bioadaptation” application functions by introducing red light in order to counter the assumed health impairment of exposure to artificial light, e.g., the increased risk of cancer. At the same time, it constrains major ecological damage caused by light emissions.

“Positional Adaptation” sheds light on the direct surroundings

of passers-by, meaning that the brightness can be considerably toned down in places which do not require lighting. Along with other applications that consider the ageing of the luminaires, ambient brightness and weather conditions, key advantages are achieved:

A combination of applications leads to energy reductions of up to 70%. The result: considerable financial savings and enduring lower CO2 emissions. At the same time, the strain lighting places on people and the environment is reduced. Economics and ecology therefore go hand in hand in the case of Adaptive Urban Lighting. Moreover, active signaling by traffic participants is believed to enhance safety.

From the design viewpoint, Adaptive Urban Lighting enables the re-introduction of natural nocturnal light with different degrees of darkness. These change smoothly as a result of the adaptive, dynamic lighting and emerge as a new parameter that can be used in planning the face of our cities.

The idea of adaptive lighting for cities thus gives rise to so many advantages that Adaptive Urban Lighting can be recommended as the basis for the next generation of city lighting.

Dank

gilt an erster Stelle den Personen, die mich am meisten unterstützten: meinen Eltern Renate und Wolfgang Baumeister sowie Kerstin Ehlert für die Hilfe bei den Visualisierungen, Korrekturen und für ihre hilfreichen Worte.

Ausserdem Herrn Prof. Gerhard Auer, ohne dessen Wissen und Beratung ich wahrscheinlich nie zu dieser Arbeit gekommen wäre, einen herzlichen Dank für die Unterstützung genauso wie Herrn Prof. Hans Goydke für seine ehrliche Kritik und konstruktiven Vorschläge.

Die vorliegende Arbeit förderten das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) bzw. das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) sowie die Europäische Union (EU) finanziell. Meinen ganz besonderen Dank dafür.

Das Thema wurde mit so vielen Experten diskutiert, dass ich an dieser Stelle nur die Personen und Firmen erwähnen will, die auf keinen Fall ungenannt bleiben dürfen: Oliver Christen (Hess Form und Licht GmbH), Uwe Daniel (Bosch Sicherheitstechnik GmbH), Wolfgang Haupt und Thomas Hilscher (Geosys Umwelttechnik GmbH), Andreas Kahmann (ComLoc GmbH), Karin A. Loidl (Fraunhofer Institut für Integrierte

Schaltungen), Julien Mounier (Braunschweiger Versorgungs-AG & Co. KG), Wolfram Pajek (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V.), Matthias Ritscher (Fraunhofer-Institut für Sichere Informations-Technologie), Patrick Röder (TU Darmstadt, FB Informatik), Yvonne Seidel (Universität Jena, FB Klassische Archäologie), Dagmar Wiebusch (Informationszentrum Mobilfunk) und zum Schluss noch ein Extra-Dankeschön an „meinen“ LED-Berater Dirk Seifert von der Philips Lighting GmbH.

IV



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie



EUROPÄISCHE UNION

Gliederung

Zusammenfassung, Abstract	II
Dank	IV
Gliederung	VI

1. Einleitung 01

1.1 Beleuchtungswechsel	01
1.2 Funktionen des Stadtlichtes	02
1.3 Lichttechnologie	04
1.4 LED-Produkte	06
1.5 These	08
1.6 Methodik	10

2. Die potentiellen Verbesserungen 13

2.1 Vorbemerkung	13
2.2 Die medizinische Perspektive	14
2.3 Die ökologische Perspektive	16
2.4 Die sicherheitstechnische Perspektive	18
2.5 Die ökonomische Perspektive	20
2.6 Katalog der Stadtlicht-Qualitäten	22

3. Die Komponenten 23

3.1 Vorbemerkung	23
3.2 Adaptionen-Komponenten Umwelt	24
3.3 Adaptionen-Komponenten Notfall	26
3.4 Adaptionen-Komponenten Passanten	27
3.5 Steuerungs-Komponenten	30
3.6 Funktionsschema Adaptives Stadtlicht	32
3.7 Anmerkung	34

VI

4. Die Adaptionen für Sicherheitslicht 35

4.1 Vorbemerkung	35
4.2 V01: Bioadaption	36
4.3 V02: Alterungsadaption	40
4.4 V03: Ablichtadaption	42
4.5 V04: Witterungsadaption	44
4.6 V05: Notfalladaption	45
4.7 V06: Positionsadaption und Bio-Positionsadaption	48
4.8 V07: Identitätsadaption	55
4.9 Ergebnis der Versuchsreihe	56

5. Die Adaptionen für Fest- und Werbelicht	57	7.3 Tendenz 02: Licht-Masterplan	78
5.1 Vorbemerkung	57	7.4 Tendenz 03: Verdunkelung	82
5.2 Transfer	58	7.5 Tendenz 04: Dynamisches Licht	86
5.3 Ergebnis des Transfers	64	7.6 Zusammenfassung	90
 6. Die Qualitäten Adaptiven Stadtlichtes	65	 8. Das Resultat	91
6.1 Vorbemerkung	65	8.1 Ein wachsender Bedarf	91
VII 6.2 Katalog der Stadtlicht-Adaptionen	66	8.2 Die neuen Techniken	92
6.3 Adaptionmix	68	8.3 Der Lösungsweg	92
6.4 Medizinische Vorteile	69	8.4 Die Beleuchtungs-Lösungen	93
6.5 Ökologische Vorteile	70	8.5 Die Auswirkungen	95
6.6 Verbesserungen der Sicherheit	71	 Anhang	97
6.7 Ökonomische Vorteile	71	Quellenverzeichnis	97
6.8 Gesundes, reduziertes, sicheres, preiswertes Licht	72	Abbildungsverzeichnis	105
 7. Die Auswirkungen auf die Stadtlichtgestalt	73	Nachtrag	108
7.1 Vorbemerkung	73		
7.2 Tendenz 01: Wechsel der Lichtfarbe	74		

01



AB 01: Zivile oder bürgerliche Dämmerung

AB 02: Nautische Dämmerung oder „Blaue Stunde“

AB 03: Astronomische Dämmerung

1 ■ Einleitung

1.1 Beleuchtungswechsel

Wir sollten uns von der Vorstellung verabschieden, dass die Nacht über eine Stadt „hereinbricht“. Genauso wie tagsüber Bewölkung und Witterung unterschiedliche Helligkeiten entstehen lassen, ruft der Untergang der Sonne eine Abfolge von Beleuchtungsverhältnissen hervor - zumindest in unseren Breitengraden. Die zivile, nautische und astronomische Dämmerungsphasen (siehe AB 01-03 links) erzeugen verschiedenartige Dunkelheiten, die sich durch atmosphärische Reflektionen der untergegangenen Sonne zusätzlich rot dann blau färben.

Mit dem langsamen Verschwinden des natürlichen Lichtes tritt das Kunstlicht hervor. Was sich am Anfang der Dämmerung noch als einzelne, kleine Lichtpunkte präsentiert, wächst allmählich zu „Inseln des Lichtes“, die schliesslich „Stücke der Finsternis vertreiben“ (Zitate von P. Zumthor aus QU 001). Während die Sonne tagsüber und in der Dämmerung die Stadt in homogene Lichtverhältnisse einbettet, prägt nachts Kunstlicht das heterogene Erscheinungsbild der Stadt.

1.2 Funktionen des Stadtlichtes

Kunstlicht in öffentlichen Räumen ist mit „Stadtlicht“ gleichzusetzen, welches als „künstliches Licht, das erst in der Erhellung der Stadt seinen Sinn findet“ bezeichnet werden kann (QU 002). Es besteht aus einzelnen Lichtpunkten, die sich aus Lampen (=Leuchtmittel) und den dazugehörigen Leuchten (= Objekte, die ein Leuchtmittel tragen) zusammensetzen.

Stadtlicht besitzt seit seinen Anfängen in der Antike eine zweifache Aufgabe. Auf der einen Seite muss es bestimmte Teile der Stadt sichtbar machen, auf der anderen Seite soll es illusionsfördernd wirken (QU 003). Bis heute bieten sich diese zwei Beleuchtungsbedürfnisse für eine Aufteilung in die zwei Stadtlichtarten Sicherheitslicht und Fest-/ Werbelicht an:

Sicherheitslicht (AB 04)

Bereits im 4. Jahrhundert n. Chr. existierte in einigen antiken Städten eine grossflächig angebrachte Verkehrsbeleuchtung, die vorwiegend der Sicherheit von nächtlichen Passanten (= Fussgänger, Rad- und Kfz.-Fahrer) dient (QU 004): Zum einen der Erleichterung des Sehens auf Verkehrswegen wie Strassen oder Fussgängerzonen, zum anderen der Erhöhung der persönlichen Sicherheit der Passanten z. B. vor kriminellen Übergriffen (QU 005).

Das Sicherheitslicht hat seinen Ursprung in der Beleuchtung von Fackelträgern, die seit mindestens 1.500 v. Chr. bis ins 19. Jahrhundert den nächtlichen Weg der Passanten beleuchteten und damit ein helles, sicheres Lichtumfeld für Passanten schafften (QU 006).

Fest- und Werbelicht (AB 05-06)

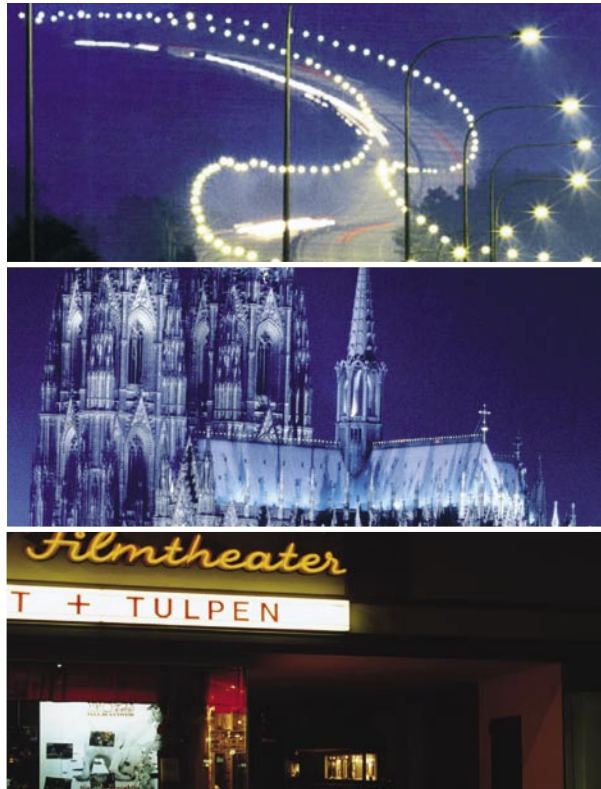
Demgegenüber entwickelte sich aus nächtlichen Panoramen der Antike - mit Beleuchtungen von Einzelbauwerken oder auch ganzer Stadtteile (QU 007) - das Fest- und Werbelicht. Die barocke Festkultur und die Weltausstellungen des 19. Jahrhunderts verbreiteten diese Stadtlichtart bis zu ihrem vielfältigen Einsatz im 20. Jahrhundert (QU 008).

02

Fest- und Werbelicht illuminiert permanent oder temporär Gebäude und Monumente, besondere städtebauliche Merkmale, Plätze oder Parks sowie Feste (z. B. Weihnachtsbeleuchtung). So schafft es Verweilqualität und trägt zur Identität und Werbung unserer Städte bei.

Als „Leuchtreklame“ beinhaltet Fest- und Werbelicht auch die kommerzielle Beleuchtung von Reklameschildern und Waren- auslagen in Schaufenstern (QU 009).

03



AB 04: Sicherheitslicht

AB 05: Illuminierendes Fest- und Werbelicht

AB 06: Kommerzielles Fest- und Werbelicht

Signal- und Individuallicht

Zwei weitere Lichtarten, die den öffentlichen Raum beleuchten, sollen nicht verschwiegen werden (QU 010):

- Signallicht wurde bereits für antike Leuchttürme oder zur Kommunikation verwendet und findet sich heute z. B. in Lichtzeichen-Anlagen oder Warnlichtern.
- Privates Individuallicht als ältestes Licht dringt aus privaten Bereichen wie Wohnungen oder Büros in die Stadt.

Die Gemeinsamkeit von Signal- und Individuallicht ist, dass ihr Zweck nicht in der Erhellung des öffentlichen Raumes liegt. Deshalb können sie per Definition nicht zum Stadtlicht gezählt werden.

All diese Nachtlichter - Verkehrslichter, Gebäude- und Platz-Anstrahlungen, Reklame- und Signallichter sowie Häuser-Erleuchtungen von innen - wirken in der nächtlichen Stadterscheinung zusammen und machen, im Gegensatz zur natürlichen Nächtlichkeit der Dämmerung und des Mondes, die künstliche Nacht aus (QU 011).

1.3 Lichttechnologie

Die historische Entwicklung des Stadtlichtes steht in unmittelbarem Zusammenhang mit Erfindungen der Lichttechnik. Sie kann in 4 Phasen dargestellt werden:

Fackeln, Kerzen und Öllampen

Illuminationen und Strassenbeleuchtungen der Antike erfolgten mittels Fackeln, Kerzen und Öllampen. Vor allem die Öllampen wurden technisch optimiert, bis im 18. Jahrhundert ihre aus einem Verbrennungsvorgang resultierende Helligkeit nicht weiter zu steigern war. Die notwendige direkte Anordnung der Brennstoffe an der Brennstelle erlaubte ausserdem nur eine dezentrale Versorgung und deshalb einen grossen Unterhaltungsaufwand (QU 012).

Gas- und Elektroglühlicht

Eine Zentralisierung der Energieversorgung und Steigerung der Helligkeit konnte erst im 19. Jahrhundert mit der Einführung des Gas- und Elektroglühlichtes erfolgen. Eine grossflächige Anwendung in Aussenräumen war die Folge, wobei die anfängliche Verbrennung von Gas durch elektrische Beleuchtung mit Glühlampen grösstenteils abgelöst wurde (QU 013).

Entladungslicht

Seit Anfang des 20. Jahrhunderts findet eine weitere Steigerung der Lichtintensität und eine Verlängerung der Lampenlebensdauer mittels Entladungslampen statt. Im Gegensatz zur zuvor praktizierten Lichtgewinnung über Materialverbrennungen bzw. -erwärmungen funktioniert das Entladungslicht durch elektrische Entladung: An gegenüberliegenden Elektroden bildet sich Glimmentladung bei Niederdruckentladungslampen bzw. Lichtbogenentladung bei Hochdruckentladungslampen. Inzwischen umfasst das Beleuchtungs-Volumen in öffentlichen Aussenräumen deutschlandweit 9,1 Millionen Entladungslampen. Davon finden sich Quecksilber- (45%) bzw. Natriumdampf-Hochdrucklampen (34%) und Leuchtstofflampen (15%) im Einsatz. Halogenmetalllampen (3%) oder Kompaktleuchtstofflampen (3%) spielen eine untergeordnete Rolle (QU 014).

LED-Licht

Seit Ende des 20. Jahrhunderts können wir einen neuen Technologiewechsel der Lichttechnik erleben: Als LED oder „Light Emitting Diode“ wird eine Halbleiterdiode bezeichnet, die mittels elektrischen Strom direkt optische Strahlung emittiert. LED-Lichtanwendungen für den Aussenbereich ergaben sich bislang hauptsächlich für Dekorations- und Markierungslicht.

Doch die Markteinführung einer neuen Generation von Hochleistungs-LEDs im Jahr 2006 ermöglicht neuerdings Anwendungen für den gesamten Stadtlichtbereich.



AB 07: Hochleistungs-LED der Firma Philips

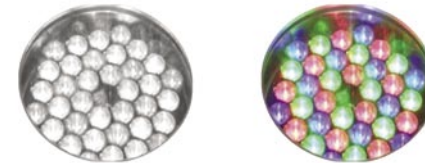
05

Das Fundament einer Hochleistungs-LED besteht aus einem Kühlkörper und einem Basisträger. Darüber befindet sich ein LED-Kristall, das durch eine Kunststofflinse mit einem Durchmesser von ca. 2 cm geschützt ist (QU 015).

Bei der Produktion entstehende Farbunterschiede der LEDs müssen zurzeit zwar noch durch aufwändige visuelle Klassifizierungen ausgeglichen werden. Doch diesem Nachteil stehen andererseits gewaltige Vorteile gegenüber, die zu einem weltweiten Technologie-Wandel von Entladungs- zu LED-Beleuchtung führen werden: Bei der Diodenleistung wurden bereits so signifikante Verbesserungen erzielt, dass LEDs voraussichtlich

im Jahre 2008 die gleiche Effizienz wie Entladungslampen haben werden. Die derzeitigen Kosten von ca. 10 - 60 Euro pro LED werden sich infolge verbesserter Produktions-Verfahren und grösserer Stückzahlen noch erheblich senken. Ein weiterer Vorteil besteht in der LED-Lebensdauer von ca. 50.000 Betriebsstunden (im Vergleich zu ca. 15.000 Betriebsstunden bei Entladungslampen) mit der Folge wesentlich geringerer Wartungskosten (QU 016).

Zusätzlich kann die Helligkeit von LEDs von 0% bis auf 100% stufenlos und extrem schnell gedimmt und durch die Wahl des Halbleitermaterials eine Vielzahl von Lichtfarben erzeugt werden. Auch weisses Licht entsteht durch Farbmischung: Entweder durch Konversion einer Blaulicht-LED mittels eines integrierten Leuchtstoffes (QU 017) oder durch Mischung der LED-Lichtfarben rot, grün, blau (siehe Kap.1.4).



AB 08: Weisses Licht mit Konversion und RGB-Mischung

1.4 LED-Produkte

Während Entladungslampen nur begrenzt mit aufwändigen Vorschaltgeräten und einer Reaktionszeit bis zu 15 Minuten zu dimmen sind, kann die Mischung der LED-Lichtfarben rot, grün, blau (RGB) durch einfache Steuerungsmodule erfolgen (QU 018). Da auch keine Veränderung der Lichtfarbe bei den Entladungslampen möglich ist, ergibt sich durch LED-Beleuchtung eine neue Dimension der Lichtanwendung: Statt einer stark eingeschränkten Dimmbarkeit der Lichtintensität gestattet LED-Beleuchtung eine unendliche Bandbreite von Lichtmodulationen mit stufenlosen Veränderungen der Lichtintensität und der Lichtfarbe.

Nachfolgende Anwendungsbeispiele mit aktuellen LED-Produkten sollen die daraus resultierenden neuen Gestaltungsmöglichkeiten andeuten und gleichzeitig den aktuellen Stand der Technik aufzeigen.

„In Bewegung“ von Atelier Brückner (AB 10)

„In Bewegung“ besteht aus einer fassadenintegrierten LED-Membran, die auf die Verkehrsdichte vor dem Gebäude reagiert. Fahrzeuge, die am Gebäude vorbeifahren, werden von einer Video-Kamera verfolgt. Das Videosignal aktiviert die LEDline² (AB 09) in der Gebäudefassade. Auf diese Weise

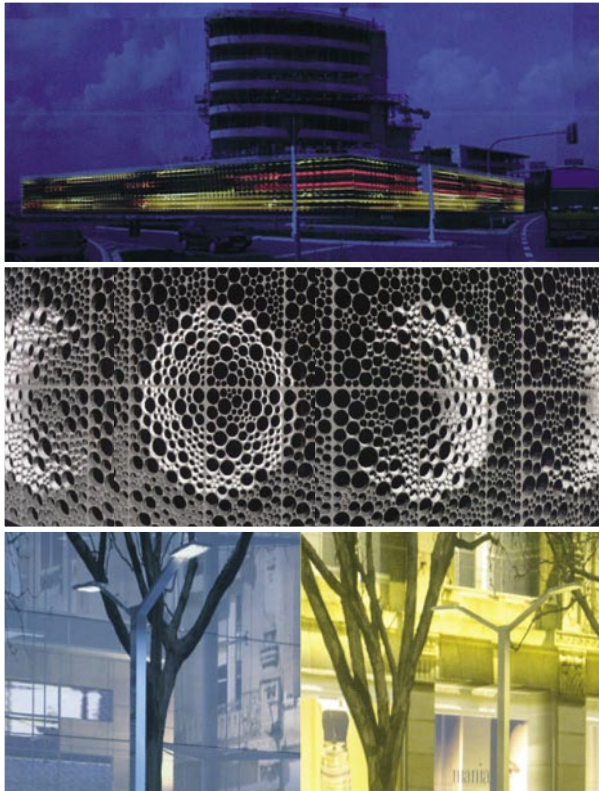
werfen die Fahrzeuge „Lichtschatten“ auf die Fassade. Dynamische Lichtspuren versetzen die Fassade gewissermassen „in Bewegung“, wodurch das Gebäude mit seiner Umgebung zu kommunizieren beginnt (QU 019).

„Natürlich und künstlich“ von Atelier Oï (AB 11)

Dieses Beleuchtungskonzept setzt die Dynamik des natürlichen Lichtes in der Nacht in künstliche Bewegung um. Durch die kontinuierliche Anpassung der Beleuchtung an den nächtlichen Zeitverlauf befindet sich das auf die Fassade projizierte Licht in ständiger Bewegung. Dabei werden die LEDflood-Scheinwerfer (AB 09) hinter einer Membranfassade aufgestellt und produzieren einen Umkehreffekt: eine Art „Gegentag“ als Verkörperung der nächtlichen Lichtwahrnehmung (QU 020).



AB 09: LEDline² und LEDflood der Firma Philips



AB 10: „In Bewegung“ von Atelier Brückner

AB 11: „Natürlich und künstlich“ von Atelier Oi

AB 12: Städtische Beleuchtung von J. Krewinkel

Städtische Beleuchtung von J. Krewinkel (AB 12)

Zwar handelt es sich bei diesem Beispiel um eine Anwendung für Verkehrslicht, doch wird auch hier das ästhetische Potential neuer LED-Technik berücksichtigt: Um die Materialität der beleuchteten Umgebung „von ihrer besten Seite zu zeigen“ (Zitat Krewinkel), können vorab Einstellungen der Lichtfarbe von gelblich anmutendem Warmweiss z. B. für Sandsteinflächen bis zu leicht bläulichem kühlem Weiss z. B. für Aussenbereiche mit Glasfassaden - in diesem Beispiel mit der Leuchte Equinox (AB 13) - vorgenommen werden. Eine individuelle Mischung von 18 weissen und amberfarbenen Hochleistungs-LEDs gewährleistet „die richtige Farbtemperatur, mit der eine attraktive Atmosphäre geschaffen wird, die dem gesellschaftlichen Leben in städtischen Umgebungen zugute kommt“ (QU 021).



AB 13: Equinox der Firma Philips

1.5 These

Adaption bedeutet „die Fähigkeit zur Anpassung an Situationen und Benutzer“, adaptiv heisst „auf Adaption beruhend“ (QU 022). In den drei vorgestellten Beispielen passen sich jeweils Parameter an Situationen bzw. Benutzer an: Die Farbigekeit der Fassade passt sich im ersten Beispiel an den Kfz-Verkehr an, im zweiten Beispiel die Beleuchtung an die Zeit und als drittes die Lichtfarbe an die Umgebungsmaterialität. Bei einer kritischen Betrachtung dieser Anwendungen muss allerdings konstatiert werden, dass es sich ausschliesslich um Einzelanwendungen handelt.

Um das generelle Potential von Adaption im Stadtlicht zu erfassen, werde ich jetzt die Perspektive ändern und meinen Fokus von lokalen Einzelanwendungen auf eine übergeordnete Betrachtungsebene des Stadtlichtes richten.

Historisch betrachtet spielte das Stadtlicht im 19. Jahrhundert eine mit der Entwicklung der Eisenbahn vergleichbare Vorreiterrolle. Beiden gemeinsam war ihre infrastrukturelle Innovation. Wie die Schienen der Eisenbahn breiteten sich in den Städten erstmals Versorgungsleitungen des Gaslichtes aus. Erst danach wurde das Prinzip der zentralen Versorgung auf die Elektrizität (siehe Kap. 1.3), auf das Frischwasser (die

Wasserversorgung war zuvor eine Vervielfältigung von Brunnen) und das Abwasser übertragen (QU 023).

Während seit dem 20. Jahrhundert die meisten Versorgungsleitungen an den Verbrauchseinrichtungen mit Mischventilen, Thermostaten und Dimmern reguliert werden können, bleibt dem ehemaligen Vorreiter Stadtlicht eine von Steuerungstechniken vernachlässigte Rolle. Stadtlicht wird noch heute meist nur ein- bzw. ausgeschaltet, da die Dimmbarkeit der eingesetzten Entladungslampen stark eingeschränkt bzw. nicht möglich ist (Kap. 1.4).

Demgegenüber wird z. B. in der Automobilindustrie adaptive Lichtsteuerung schon längst angewendet. Dort optimiert ein dynamisches Kurvenlicht die Ausleuchtung der Fahrbahn entscheidend, indem das Scheinwerfermodul im Fahrbetrieb entsprechend des Lenkeinschlages mitschwenkt. Zusätzlich beleuchtet adaptives Abbiegelicht beim Abbiegen die neue Fahrtrichtung. Es schaltet sich automatisch ein, wenn der Blinker länger gesetzt wird oder der Fahrer das Lenkrad stärker einschlägt und sorgt dadurch für vorausschauendes Fahren (QU 024).

Diese Innovationen der Automobilindustrie sind nicht direkt auf das Stadtlicht übertragbar. Doch sie zeigen auf, dass im

Generellen ein grosses Potential in der Lichtanpassung an Situationen und Benutzer liegt.

Für das Stadtlicht entstehen daraus zwei Entwicklungen:
Erstens liegt die Vermutung nahe, dass sich aus einer Adaption der Beleuchtung Verbesserungen ergeben könnten.
Und zweitens wird der zukünftige Technologiewechsel - von Entladungslampen zu LED-Beleuchtung (Kap. 1.3) - zu den Licht-Modulationsmöglichkeiten führen, die für Adaptionen unabdingbar sind.

09 Durch die Zusammenführung der zwei Entwicklungen ergibt sich auf der übergeordneten Betrachtungsebene die spannende Frage, inwieweit die Kombination von Adaption und LED-Beleuchtung neue Anwendungen generiert.
Hieraus geht folgende These hervor:

Die Anwendung von adaptiver LED-Beleuchtung führt zu nachhaltigen Verbesserungen des Stadtlichtes.

Die angenommenen Anwendungen werden unter dem Begriff „Adaptives Stadtlicht“ zusammengefasst.

1.6 Methodik

Ziel der Untersuchung ist ein Ausloten des Potentials von Adaptionen in der Stadtbeleuchtung. Es wird nicht nach der einzigen, ultimativen Anwendung sondern nach einer Palette möglicher Adaptionen gesucht, deren Auswahl in Abhängigkeit zu spezifischen Beleuchtungsaufgaben und Nutzerinteressen erfolgen kann.

Deshalb spannt die Methodik ein Untersuchungsfeld auf, das eine Bandbreite von Anwendungen entstehen lässt, deren Machbarkeit und Funktionsweise nachzuweisen ist. Auch dabei liegt der Schwerpunkt nicht auf einzelnen technischen Vertiefungen sondern auf der Darstellung unterschiedlicher Umsetzungsmöglichkeiten, die sich wiederum an Rahmenbedingungen anpassen können.

Erstmals wird durch diese übergeordnete Betrachtungsweise eine generelle Aussage über Potentiale einer sich anpassenden LED-Beleuchtung und der daraus resultierenden Auswirkungen auf die nächtliche Stadtgestalt möglich sein.

Die Untersuchung baut sich in sieben Schritte auf:

1. Verbesserungs-Potentiale (Kap. 2)

Zunächst ist die Frage zu stellen, wo Bedarf an neuen Beleuchtungs-Anwendungen besteht. Deshalb werden im ersten Schritt aus der Perspektive unterschiedlicher Interessensgruppen Verbesserungs-Potentiale des aktuellen Stadtlichtes gesucht.

2. Komponenten (Kap. 3)

Detektions- und Steuerungs-Komponenten werden erfasst. Sie bilden die Parameter für die folgenden Versuchsreihen.

3. Anwendungen für Sicherheitslicht (Kap. 4)

Der besseren Übersichtlichkeit halber untersucht die Versuchsreihe in Schritt 3 ausschliesslich das Sicherheitslicht. Die Versuche ergeben sich durch Kombination von Detektions- und Steuerungs-Komponenten. Da zahlreiche Komponentenpaare entstehen, soll direkt nach jedem einzelnen Versuch das Ergebnis ermittelt und geprüft werden. Die Prüfung erfolgt mithilfe der in Schritt 1 ermittelten Potentiale, die als Auswahlkriterien dienen und zu den Anwendungen führen.

4. Anwendungen für Fest- und Werbelicht (Kap. 5)

Um die gesamte Bandbreite des Stadtlichtes zu beleuchten,

ist die Untersuchung noch auf das Fest- und Werbelicht zu fokussieren. Die in Schritt 3 gefundenen Anwendungen werden dabei auf Fest- und Werbelicht übertragen.

5. Vorteile von Adaptivem Stadtlicht (Kap. 6)

Nach einer Zusammenführung der Anwendungen des Sicherheitslichtes und des Fest- und Werbelichtes sind die durch Adaptives Stadtlicht zu erzielenden Verbesserungen mit den Verbesserungs-Potentialen aus Schritt 1 zu vergleichen.

6. Auswirkungen auf die Stadtlichtgestalt (Kap. 7)

11 Die Auswirkungen von Adaptivem Stadtlicht sind abschliessend zu untersuchen, indem sie in die Tendenzen aktueller Stadtlichtplanung eingeordnet werden.

7. Resultat (Kap. 8)

Hauptsächlich wird die Richtigkeit der These mit einer Zusammenfassung der Anwendungen, ihren Verbesserungspotentialen und Auswirkungen zu bewerten sein. Dadurch kann Adaptives Stadtlicht beurteilt und ein Ausblick auf dessen Weiterentwicklung gegeben werden (AB 14).



AB 14: Diagramm Methodik

2 ■ Die potentiellen Verbesserungen

2.1 Vorbemerkung

Besteht denn überhaupt ein Bedürfnis nach neuen Anwendungen für die Beleuchtung urbaner Räume? Oder anders formuliert: Wo stecken die Potentiale für Verbesserungen des Stadtlichtes?

Stadtbewohner, Umweltschützer, Passanten im Strassenverkehr und Betreiber der öffentlichen Beleuchtung betrachten diese Frage jeweils aus einer anderen Perspektive.

Deshalb geht dieses Kapitel den unterschiedlichen Bedürfnissen der verschiedenen Interessensgruppen nach - immer auf der Suche nach Verbesserungs-Möglichkeiten:

- Aus medizinischer Perspektive ist nach Optimierungen für Stadtbewohner zu suchen (Kap. 2.2).
- Aus ökologischer Perspektive soll nach Verbesserungen für die Umwelt gefahndet werden (Kap. 2.3).
- Aus sicherheitstechnischer Perspektive wird Steigerungen der Sicherheit für Passanten nachgegangen (Kap. 2.4).
- Aus ökonomischer Perspektive beschäftigt sich dieses Kapitel mit möglichen Einspar-Effekten (Kap. 2.5).

2.2 Die medizinische Perspektive

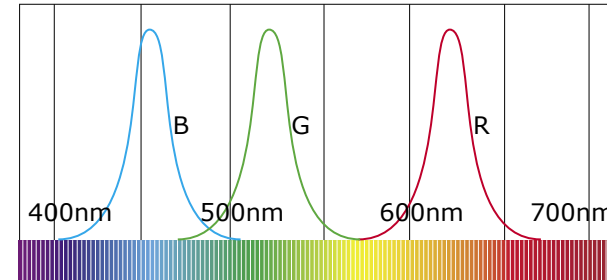
Die Erdatmosphäre ist für die von der Sonne emittierte elektromagnetische Strahlung unterschiedlich permeabel. Für Wellenlängen von 380 - 750 nm besteht die maximale Durch-



AB 15: Sichtbares Licht zwischen 380 - 750nm

lässigkeit. Genau dieser Bereich des elektromagnetischen Spektrums wird vom Menschen detektiert und als Licht wahrgenommen (AB 15).

Bis zum Jahr 2001 waren zwei Sensortypen in der Netzhaut des Auges bekannt. Sie haben die Aufgabe, das auftreffende Licht auf Helligkeit (Stäbchen) und Farbe (Zapfen) zu detektieren. Für die Erfassung unterschiedlicher Abschnitte des elektromagnetischen Spektrums sind drei Zapfenarten zuständig. Je nach Mischungsverhältnis der detektierten Farbbereiche entsteht entweder die Empfindung einer Lichtfarbe oder von weissem Licht. So werden rote (R) grüne (G) und blaue (B) LEDs von den zugehörigen Zapfen einzeln als farbiges Licht wahrgenommen, gemeinsam können sie jedoch den Eindruck einer weissen Lichtfarbe erzeugen (AB 16).

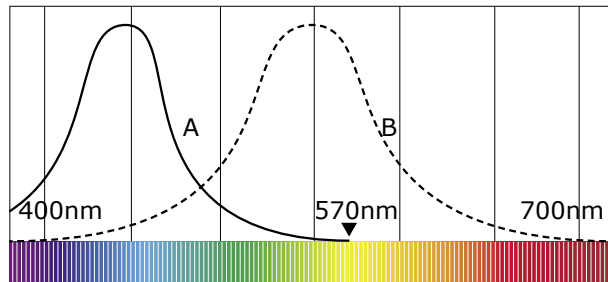


AB 16: R/G/B-LEDs = weisses Licht durch Farbmischung

Im Jahr 2001 wurde von D. Berson u. a. ein dritter Sensortyp im Auge entdeckt, dessen Cryptochrome Rezeptoren für die Steuerung biologischer Vorgänge verantwortlich sind (QU 025). Eigene Nervenverbindungen vernetzen diese Zellen hauptsächlich mit zwei Stellen im Gehirn: dem SCN (Suprachiasmatischer Nucleus) und der Zirbeldrüse.

14

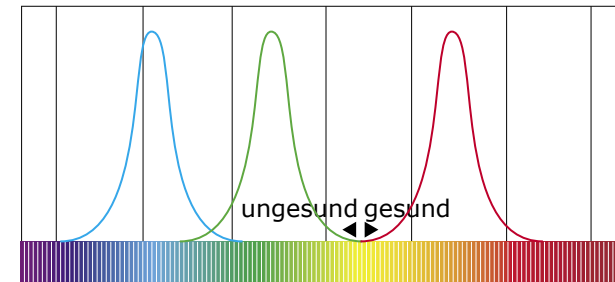
Während der SCN als „biologische Uhr“ funktioniert, ist die Zirbeldrüse für die Steuerung der Hormone Cortisol und Melatonin zuständig. Detektieren die Cryptochromen Rezeptoren Tageslicht, so aktiviert Cortisol den menschlichen Körper. Wird dagegen nachts kein Tageslicht wahrgenommen, veranlasst das Hormon Melatonin Schläfrigkeit und Entspannung (QU 026).



AB 17: Biologische (A) und visuelle (B) Empfindlichkeit

15 Die Empfindlichkeit der Cryptochromen Rezeptoren variiert in Abhängigkeit zur Wellenlänge des Lichtes. Bei einem Vergleich der biologischen Empfindlichkeit mit der visuellen Empfindlichkeit der Zapfen (AB 17) wird deutlich, wie sehr sich beide diesbezüglich unterscheiden: Während die maximale visuelle Empfindlichkeit (B) im gelb-grünen Wellenlängenbereich liegt, befindet sich die maximale biologische Empfindlichkeit (A) im blauen Bereich des Spektrums. Rotes Licht über 570nm ist deshalb biologisch nicht wirksam (QU 027)!

Für Kunstlicht gilt dasselbe: Jede nicht rote Beleuchtung wirkt auf die biologische Empfindlichkeit. Darum steht Kunstlicht im Verdacht, die menschliche Gesundheit negativ zu beeinflussen. So wird z. B. vermutet, dass die Detektion von künstlicher Beleuchtung zu Schlaflosigkeit führen kann.



AB 18: Grenze der biologischen Empfindlichkeit

Alarmierender sind jedoch Ergebnisse von breit angelegten Studien mit bis zu 120.000 Testpersonen, die die Auswirkungen einer durch Kunstlicht veränderten Melatonin-Ausschüttung auf den menschlichen Körper untersuchen. Darin wird die bereits 1987 veröffentlichte „Melatonin-Hypothese“ bestätigt (QU 028). Sie besagt, dass künstliche Beleuchtung und die daraus resultierende Veränderung der Melatonin-Ausschüttung das Risiko für Depressionen und für bestimmte Krebsarten (z. B. für Brust-, Dick- und Enddarmkrebs) erhöht (QU 029).

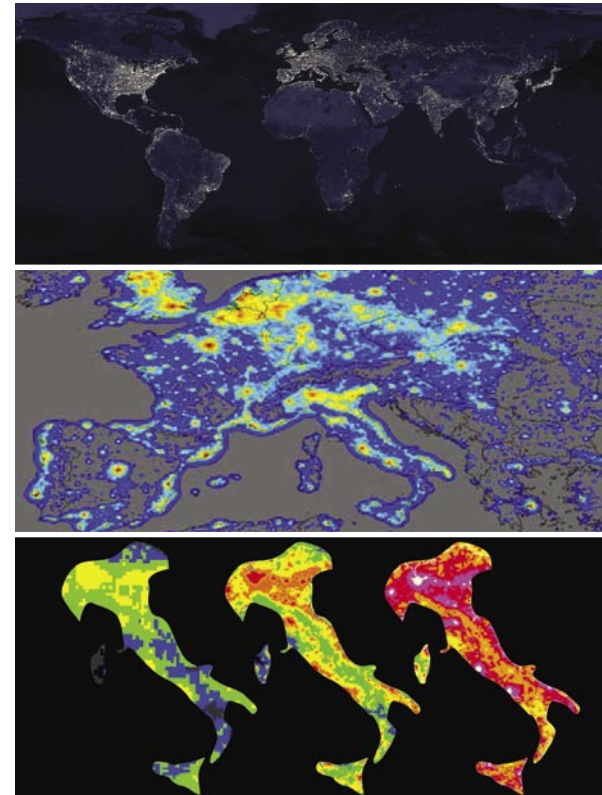
Auf diese vermuteten Gesundheitsgefährdungen könnte sehr einfach mit einer Rotfärbung der Beleuchtung reagiert werden, die nicht von den Cryptochromen Rezeptoren detektiert wird und somit **gesünderes Licht** bedeutet (AB 18).

2.3 Die ökologische Perspektive

Die Entwicklung der Lampentechnik steigerte in den letzten 150 Jahren zunehmend die Lichtströme (= das gesamte, von einer Lampe emittierte Licht) der Aussenbeleuchtung. Gleichzeitig erhöhte sich die Anzahl der Lichtpunkte fortlaufend. Zusammen mit Reflektor-Optimierungen führte dies zu stark wachsenden Beleuchtungsstärken (= das auf eine Fläche auftreffende Licht) bzw. Leuchtdichten (= das von einer Fläche reflektierte Licht) (QU 030).

Inzwischen sind die Kunstlichtemissionen so hoch, dass sie das nächtliche Erscheinungsbild der Erde prägen (AB 19). Für die Umwelt ergeben sich dadurch negative Effekte, die als Lichtverschmutzung bezeichnet werden. Doch wem schadet diese Lichtverschmutzung?

Insekten: Die negativen Auswirkungen der Lichtverschmutzung auf die Tier- und Pflanzenwelt werden anhand eines Beispiels exemplarisch dargestellt: Insekten sind zum Großteil nachtaktiv und werden durch künstliche Beleuchtung wie mit einem Staubsauger angezogen („Staubsaugereffekt“). Die Leuchten funktionieren als Lichtfallen und töten die Insekten milliardenfach. Dieser Effekt kann zwar durch eine veränderte Leuchtenkonstruktion, die weniger Licht in den Himmel



AB 19: Weltweite Lichtemissionen © NASA

AB 20: Sichtbare Sterne: grau=5000, orange=150

AB 21: Lichtverschmutzung Italien 1971, 1998, ca. 2025

abstrahlt, reduziert werden, doch die Grundproblematik bleibt bestehen: Nachtaktive Insekten orientieren sich am Licht des Mondes. Leuchten werden von ihnen als Monde identifiziert. Hieraus resultiert eine Störung ihres Navigationssystems, welche zum ständigen Umkreisen der Leuchten bis zum Tod durch Erschöpfung oder Verbrennen führt. Die Folgen sind weitgehende Einschnitte in das ökologische Gleichgewicht.

Eine Lösung dieses Problems besteht aus derselben Massnahme wie im vorhergehenden Kapitel (Kap. 2.2), jedoch aufgrund einer anderen Ursache: Die maximale visuelle Empfindlichkeit von nachtaktiven Insekten liegt im ultravioletten

- 17 Bereich jenseits des blauen Farbspektrums ($< 380 \text{ nm}$). Rot-spektrales Licht detektieren sie meist nicht und würde deshalb ihre Mortalitätsrate stark senken.

Als zweite Lösung bietet sich eine tages- oder jahreszeitliche Licht-Anpassung an, da Insekten in Abhängigkeit zur Mondphase, zur Witterung und zur Jahreszeit unterschiedlich auf künstliche Beleuchtung reagieren. Eine Berücksichtigung dieser Faktoren empfiehlt sich, falls die Beleuchtung nicht rotgefärbt oder ständig ausgeschaltet werden kann (QU 031).

Menschen: Wie bereits im vorangegangenen Kapitel erläutert (Kap. 2.2), ist Kunstlicht wahrscheinlicher Auslöser für erheb-

liche menschliche Gesundheitsdefizite. Als weitere Auswirkung der Lichtverschmutzung kommt der Verlust des sichtbaren Sternenhimmels hinzu. Im „The first World Atlas of the artificial night brightness“ wird z. B. für Europa dokumentiert, dass durchschnittlich nur noch 10% und in Ballungsräumen nur noch 3% der Sterne sichtbar sind (AB 20). Die Hälfte der EU-Bevölkerung und zwei Drittel der Bewohner der USA können nicht mehr mit bloßem Auge die Milchstraße beobachten. Darauf machte bereits 1992 die UNESCO aufmerksam und erklärte den Sternenhimmel zum gefährdeten und daher zu schützenden Allgemeingut (QU 032).

Trotzdem nimmt die Lichtverschmutzung in den USA und Europa jährlich um 5-10% zu (QU 033). Für Italien ist in AB 21 diese Entwicklung von grau (= keine Lichtverschmutzung) über blau, grün, gelb des Jahres 1971 zu orange, rot bis weiss (= sehr starke Lichtverschmutzung) für das Jahr 2025 dokumentiert bzw. prognostiziert.

Bei diesen starken Zunahmen der Lichtverschmutzung und mit der Kenntnis der daraus resultierenden ökologischen Schäden stellt sich die Frage, inwieweit diese negative Licht-Entwicklung umgekehrt werden könnte. Hat Adaptives Stadtlicht das Potential zu **reduziertem Licht**?

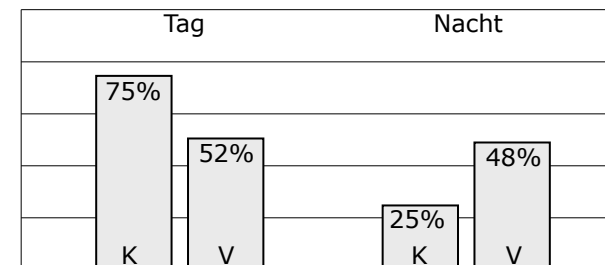
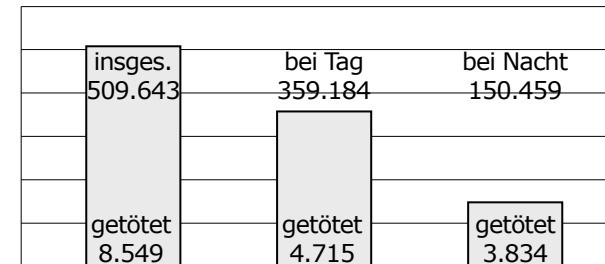
2.4 Die sicherheitstechnische Perspektive

Die öffentliche Beleuchtung dient hauptsächlich der nächtlichen Sicherheit. Für deren Gewährleistung besteht zwar keine allgemeine Beleuchtungspflicht, doch die Empfehlungen der DIN EN 13201 „Ortsfeste Verkehrsbeleuchtung“ gehen als Grundlagen bei der Planung von Beleuchtungs-Anlagen ein (QU 034). Dort finden folgende Gütekriterien für gute Wahrnehmungsbedingungen Berücksichtigung: Gleichmässigkeit der Beleuchtung, Begrenzung der Blendung, Übergänge von beleuchteten zu unbeleuchteten Abschnitten und empfohlene Leuchtdichten bzw. Beleuchtungsstärken entsprechend der Verkehrsdichte und der Geschwindigkeit (QU 035).

Ist durch Einhaltung dieser Gütekriterien eine optimale Sicherheit gegeben? Oder bestehen noch Verbesserungspotentiale? Zur Beantwortung dieser Fragen wird die nächtliche Sicherheit in persönliche Sicherheit und Verkehrssicherheit untergliedert:

Persönliche Sicherheit: Bei der Untersuchung der persönlichen Sicherheit vor kriminellen Übergriffen kann auf Studien der Polizei in Nordrhein-Westfalen zurückgegriffen werden. Im Rahmen von Bürgerbefragungen wurde festgestellt, dass sich ein Drittel der Befragten selbst in der eigenen Wohnge-

gend nachts auf der Strasse unsicher fühlen. Darum verlässt sogar jede(r) zehnte Befragte nach Einbruch der Dunkelheit nicht mehr seine Wohnung (QU 036). Die aktuelle öffentliche Beleuchtung gewährleistet deshalb nur eine eingeschränkte persönliche Sicherheit.



AB 22: Verunglückte im Strassenverkehr in Deutschland

AB 23: Kilometerleistung K und tödliche Unfälle V

Verkehrssicherheit: Trotz DIN EN 13201 bzw. der Vorgängerin DIN 5044 verunglücken in Deutschland bei Dunkelheit jährlich ca. 150.000 Personen (AB 22). Obwohl nachts das Verkehrsaufkommen deutlich geringer ist, treten Unfälle häufiger und schwerer auf als tagsüber. Der Anteil tödlicher Unfälle bei Dunkelheit beträgt fast 50 Prozent, obwohl in dieser Zeit nur 25 Prozent der gefahrenen Kilometer fallen (AB 23). Zwar fließen auch nicht-visuelle Faktoren wie Müdigkeit und Alkoholeinfluss in diese Bilanz ein, doch Hauptursache bleibt die schlechte öffentliche Beleuchtung (QU 037).

19 Da durch die Nacht-Unfälle europaweit auch Kosten in Höhe von ca. 50 Mrd. Euro (QU 038) entstehen, strebt die EU eine Verringerung der Verkehrstoten um 50% bis 2010 an (QU 039). Deshalb besteht genauso wie für die persönliche Sicherheit auch für die Verkehrssicherheit ein Bedarf nach sicherheitstechnischen Verbesserungen.

Auf der Suche nach Lösungen wird in diesem Zusammenhang häufig die Behauptung aufgestellt „Mehr Licht bietet mehr Sicherheit“. Infolge wenig aussagekräftiger Statistiken ist diese Forderung allerdings kontrovers zu diskutieren. Zwar ermöglichen höhere Beleuchtungsstärken, Personen in der Dunkelheit leichter zu identifizieren, Gefahrenquellen früher zu erkennen sowie Entfernungen und Geschwindigkeiten leichter einzu-

schätzen. Gleichzeitig bedeutet ein „mehr Licht“ aber auch - neben den medizinischen und ökologischen Defiziten (Kap. 2.2/2.3) - eine Steigerung der Gefahren durch Blendung, geringere Gleichmässigkeit der Beleuchtung und grössere Kontraste zwischen hell und dunkel. Somit gibt es gute Gründe für Überlegungen über alternative Beleuchtungs-Konzepte.

In der Automobilindustrie wird z. B. eine Optimierung der Verkehrssicherheit nicht mehr durch Steigerungen der Beleuchtungsstärke sondern durch Anpassungen der Kfz-Frontbeleuchtung an Strassenverlauf und Richtungsänderungen erreicht (Kap. 1.5).

Diese sicherheits-optimierende Strategie einer Anpassung an äussere Bedingungen muss bei den weiteren Überlegungen Einfluss finden. Als Alternative zur Steigerung der Licht-Quantität könnte das Konzept einer „Aktiven Sicherheit“ in das Stadtlicht einfließen und zu **sichererem Licht** führen.

2.5 Die ökonomische Perspektive

Nachdem aus der Perspektive der Stadt-Bewohner, der Umwelt und der Passanten bereits medizinische, ökologische und sicherheitstechnische Verbesserungspotentiale ermittelt werden konnten, folgt abschliessend die ökonomische Betrachtung aus Sicht der Betreiber. Deren jährliche Ausgaben für öffentliche Beleuchtung belaufen sich für die 9,1 Millionen Lichtpunkte in Deutschland derzeit auf jährlich ca. 2 Milliarden Euro (QU 040). Die hohe finanzielle Belastung muss von den Kommunen getragen werden, wobei diese teilweise Betriebsführungs-Verträge mit Dienstleistungs-Unternehmen abschliessen. Um die Einsparpotentiale differenzierter zu betrachten, werden die jährlichen Kosten üblicherweise in Kapitalkosten, Wartungs-/ Reparaturkosten und Energiekosten unterteilt:

Die **Kapitalkosten** von 0,5 Milliarden Euro (QU 041) sind in den nächsten Jahren nicht wesentlich zu reduzieren, da LED-Leuchten im Gegensatz zu konventionellen Leuchten zwar bei ihrer 2- bis 3-fache Lampen-Lebensdauer längere Abschreibungszeiten besitzen, aber auch höhere Anschaffungskosten verursachen.

Die **Wartungs- und Reparaturkosten** von 0,7 Milliarden Euro (QU 042) werden sich infolge der höheren Lampen-Lebensdauer verringern, jedoch fehlen Erfahrungswerte der tatsächlich benötigten Wartungs- und Reparaturabstände.

Die **Energiekosten** von 0,8 Milliarden Euro (QU 043) besitzen bereits jetzt ein ökonomisches Verbesserungspotential. So konnte z. B. die Stadt Augsburg 20% ihrer Energiekosten (das sind immerhin jährlich 250.000 Euro) durch Auswechslung der Leuchtmittel einsparen (QU 044): Quecksilberdampf-Hochdrucklampen mit einer Lichtausbeute (= der Quotient Lichtstrom und Leistungsaufnahme einer Lampe) von ca. 50 lm/W wurden durch Natriumdampf-Hochdrucklampen mit einer höheren Lichtausbeute von 100 lm/W ersetzt.

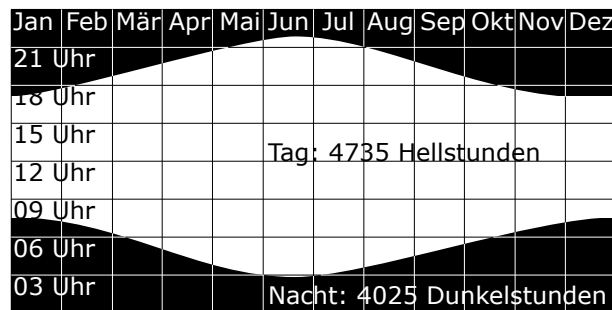
20

Zwei weitere Einspar-Massnahmen kristallisierten sich in den letzten Jahren heraus. So ist die Abschaltung jeder zweiten Leuchte im Stadtraum einfach umzusetzen. Ein eklatanter Nachteil besteht allerdings in der Gefährdung der Verkehrs-Sicherheit durch ungleichmässige Ausleuchtung, weshalb diese Massnahme von vielen Gemeinden bereits wieder rückgängig gemacht wurde und hier nicht weiterverfolgt wird.

Demgegenüber gewährleistet eine zweite Massnahme zur Energie-Einsparung die Gleichmässigkeit der Beleuchtung:

In Zeiten mit geringerem Passantenaufkommen wird dabei das Beleuchtungs-Niveau gesenkt. Diese sogenannte Nachtschaltung kann durch halbseitiges Ausschalten von Doppelreflektorleuchten oder durch Dimmen der Hochdrucklampen erreicht werden. Entweder wird eine doppelte Lampen- und Reflektortechnik benötigt oder es entstehen hohe Anschaffungs- und Unterhaltungskosten durch Zusatzgeräte zum Dimmen der Hochdruck-Dampflampen. Deshalb sind beide Nachtschaltungsarten sehr aufwändig und nur mit sehr lang-samen Reaktionszeiten möglich (QU 045).

- 21 Was mit konventioneller Beleuchtungstechnik schwierig um-zusetzen ist, bietet sich jedoch für LED-Beleuchtung mit ihrer problemlosen Veränderung der Lichtintensität verstärkt an.



AB 24: Jährliche Verteilung der Dunkelstunden in Berlin

Eine Senkung des allgemeinen Beleuchtungsniveaus mit LED-Einsatz stellt ein ökonomisches Verbesserungspotential dar. Für eine erste Einschätzung über das Ausmass der einzusparenden Energiekosten wird von einer sechsständigen Absenkung des Lichtstroms pro Nacht auf 50% ausgegangen. Daraus ergäbe sich eine Reduzierung des Energieverbrauchs von $0,5 \times 365 \times 6h = 1095h$ weniger Beleuchtungsstunden. Bezogen auf insgesamt 4025 Dunkelstunden (AB 24) erhält man 27% weniger Energiekosten.

Die Senkung der Energiekosten um 27% bedeutet für Deutschland eine Reduzierung um 0,8 Mrd. Euro $\times 0,27 =$ ca. 0,2 Milliarden Euro pro Jahr. (Da die Lichtausbeute der konventionellen Stadtbeleuchtung im günstigsten Fall bei 100 lm/W liegt und mit Hochleistungs-LEDs im Jahr 2008 derselbe Wert erreicht sein wird (QU 046), kann also - wie bisher - von 0,8 Milliarden Euro Energiekosten für LED-Beleuchtung ausgegangen werden.)

Als Ergebnis dieser Beispiels-Betrachtung kann somit festgehalten werden, dass Möglichkeiten zur Energie-Einsparung bei LED-Beleuchtung bestehen, die zu **preiswerterem Licht** führen.

2.6 Katalog der Stadtlicht-Qualitäten

Die Bedürfnisse nach neuen Anwendungen für die Beleuchtung öffentlicher Räume sind vielfältig. Aus ihnen heraus definieren sich die Qualitäten einer neuen Stadtlicht-Generation:

Gesundes Licht!

zur Senkung gesundheitsschädlicher Einflüsse.

Reduziertes Licht!

zur Minderung der Lichtverschmutzung.

Sicheres Licht!

zur Erhöhung der Passanten-Sicherheit.

Preiswertes Licht!

zur Verringerung ökonomischer Belastungen.

Die Sicherstellung dieser Qualitäten ist das Ziel von Adaptivem Stadtlicht.

3

■ Die Komponenten

3.1 Vorbemerkung

Die Verknüpfung von Adaption und Stadtlicht bedingt sowohl eine Detektions-Einheit zur Erkennung bestimmter Situationen als auch eine Steuerungs-Einheit zur Anpassung der Beleuchtung. Für das Beleuchtungssystem „Adaptives Stadtlicht“ ergeben sich also zwei Komponenten-Gruppen:

Detektions-Komponenten erfassen über Sensoren Situations- und Benutzerbedingungen. Dabei ergeben sich Situationsbedingungen aus der Umwelt und durch Notfälle. Benutzerbedingungen ergeben sich durch Passanten (QU 047). Somit bietet sich eine Unterteilung der Detektions-Komponenten in Umwelt- (Kap. 3.2), Notfall- (Kap. 3.3) und Passanten-Komponenten (Kap. 3.4) an.

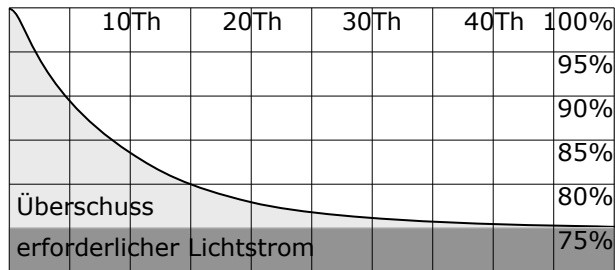
Steuerungs-Komponenten führen zur Anpassung der Lichtintensität und Lichtfarbe (Kap. 3.5).

Die Komponenten werden im Folgenden meist aus ihrer geschichtlichen Entwicklung heraus betrachtet, auf ihr Einsatzpotential hin geprüft und zu einem Funktionsschema gefügt.

3.2 Detektions-Komponenten Umwelt

Sensor Zeit

Die einfachste Form einer Anpassung an die Umwelt besteht im Ein- und Ausschalten der öffentlichen Beleuchtung. Bis vor hundert Jahren war die öffentliche Beleuchtung noch in die natürlichen Lichtverhältnisse eingebettet, indem Leuchttabellen neben den Zeiten des Sonnenauf- und Untergangs auch die Zeiten des Mondscheins berechneten (QU 048). Heutzutage wird nur noch der jahreszeitlich abhängige Beginn bzw. das Ende der Dämmerung in der Schaltung des Stadtlichtes berücksichtigt.



AB 25: Alterung einer LED in Tausend Stunden [Th]

Sensor Alterung

Wenn der Docht der früher verwendeten Kerzenbeleuchtung nicht dauernd beschnitten bzw. „geputzt“ wurde, verringerte sich deren Leuchtkraft innerhalb von einer halben Stunde von 100% bis auf 16% (QU 049). Inzwischen bedarf es zwar keiner ständigen Pflege der Leuchtmittel mehr, doch die Alterung wirkt sich immer noch negativ auf den Lichtstrom aus. Sie wird deshalb bei der Dimensionierung von Beleuchtungs-Anlagen mit einem Verminderungsfaktor berücksichtigt - mit dem Resultat einer Überdimensionierung der Lampen über einen Grossteil ihrer Lebensdauer.

Bei Hochleistungs-LEDs verändert sich der Lichtstrom über die gesamte Lebensdauer von 100% auf 75% (AB 25). Statt der Anwendung eines Verminderungsfaktors könnten ständige Anpassungen der Lichtintensität an die Alterung das Sinken des Lichtstroms ausgleichen. Dafür bieten sich Sensoren an, die bereits in LED-Medienwände für ähnliche Aufgaben verwendet werden (QU 050). Diese Massnahme wäre vergleichbar mit dem früheren Putzen von Kerzen - allerdings in wesentlich längeren Adaptions-Abständen.

Sensor Ablicht

Wie bis vor hundert Jahren das natürliche Ablicht des Mondes in Leuchttabellen berücksichtigt wurde, könnte auch bei Adaptivem Stadtlicht künstliches Ablicht, wie z. B. die Schaufenster-Beleuchtung in Fussgängerzonen, einbezogen werden. Denn künstliches Ablicht verbreitet mancherorts so hohe Beleuchtungsstärken, dass eine Sicherheitsbeleuchtung überflüssig scheint.

25

Deshalb wird das Ablicht als weitere Detektions-Komponente miteinbezogen und kann über Helligkeits- bzw. Dämmerungs-Sensoren erfasst werden (QU 051).

Sensor Witterung

Dass sich die nächtlichen Beleuchtungsverhältnisse einer Stadt auch durch Witterungseinflüsse verändern, beweisen Untersuchungen zum Einfluss der Witterung auf die erforderliche Beleuchtungsstärke. Sie zeigen, dass sich z. B. bei Regen die mittlere Leuchtdichte einer Fahrbahn durchschnittlich um den Faktor 2 erhöht (QU 052-053). Bei Schnee treten noch extremere Werte auf, Nebel dagegen lässt einen gegenteiligen Effekt auftreten.

Somit kann festgestellt werden, dass der Einfluss von Regen, Schnee und Nebel - zukünftig als Witterung bezeichnet - die Wahrnehmung der Leuchtdichte bzw. der Beleuchtungsstärke verändert. Die Witterung wird deshalb der Sammlung der Detektions-Komponenten zugefügt. Strassenzustands-Sensoren für die Identifikation von Wasser, Eis, Schneematsch und Schnee (QU 054) sowie Sichtweite-Sensoren (QU 055) ordnen die Witterungszustände ein.

3.3 Detektions-Komponente Notfall

Sensor Notfall

Nach der Ermittlung der Umwelt-Komponenten Zeit, Alterung, Ablicht und Witterung ist nun die Detektions-Komponente Notfall zu berücksichtigen (Kap. 3.1). Im Mittelalter dienten an Hausecken befestigte Pechpfannen, die bei Gefahren wie z. B. bei Bränden angezündet wurden und Löschmannschaften den Weg zum Brandherd wiesen, als Notfallsignal (QU 056). Dieses Licht ist - wahrscheinlich infolge zunehmender Beleuchtungsstärken des Stadtlichtes - verloren gegangen und lebt höchstens noch in mobilen Notfallleuchten fort.

Feuerwehreinsätze könnten auch heutzutage wieder zu Adaptionen des Stadtlichtes führen. Das Blaulicht der Löschfahrzeuge unterstützend, würde deren Gefahr im Strassenverkehr signalisiert werden. Dasselbe Signalisierungsprinzip wäre auch auf andere Rettungsfahrzeuge und auf Gefahrenzonen wie Unfall- oder Baustellen übertragbar. Technisch ist eine Detektion der Gefahrenpositionen durch Daten-Integration von Notfall- bzw. Rettungszentralen sowie von Baustellen-Positionen möglich (QU 057).

3.4 Detektions-Komponenten Passanten

Sensor Position

Auf der Suche nach Lichtanpassungen an Passanten erinnern wir uns an die bereits erwähnten Fackelträger der Antike, die als „Lichttaxi“ eingesetzt wurden (Kap. 1.2). Sie beleuchteten ausschliesslich das direkte Umfeld nächtlicher Passanten.

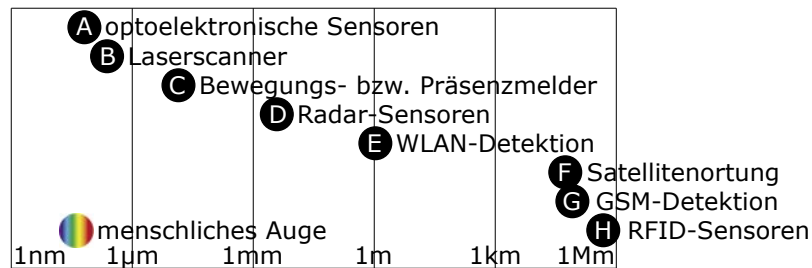
Die Erhöhung der Lichtintensität im direkten Personenumfeld überträgt dieses Prinzip auf heutiges Stadtlicht.

Dafür ist die Bestimmung der Passanten-Position erforderlich, die durch die Detektions-Komponente „Sensor Position“ gewährleistet wird. Im Gegensatz zum menschlichen Auge mit einem Detektionsbereich von 380 bis 750 nm bewegt sich der Einsatz von Positions-Sensoren bis zu 1 Mm (AB 26).

26

Doch welche Sensortechniken bieten sich für eine Positionsbestimmung von Passanten an?

A. optoelektronische Sensoren, die 3D-Szenen erfassen, verarbeiten und bewerten, wodurch Objekte wie z. B. Passanten auszulesen sind (QU 058).



AB 26: Spektrum der Positions-Sensoren

B. Laserscanner, die die Umgebung abtasten und die Passanten-Position durch Auswertung bestimmter Algorithmen ermitteln (QU 059).

C. Bewegungs- bzw. Präsenzmelder, die in einem Nahbereich auf Bewegungen bzw. die Präsenz von Passanten reagieren (QU 060).

D. Radar-Sensoren, die Scans eines Strassen-Abschnittes erzeugen und eine Objekterkennung innerhalb des überwach-

ten Bereichs signalisieren (QU 061).

E. WLAN-Detektion, die bei einer WLAN-Verbindung (WLAN = Wireless Local Area Network) eines mitgeführten Mobil-Telefons die Signalstärke der WLAN-Access-Points (= Basisstationen) auswertet und die Passanten-Position bestimmt (QU 062) - Mobiltelefone haben in Europa inzwischen eine durchschnittliche Verbreitung von über 100% (QU 063).

F. Satellitenortung, die mit der Entwicklung des ersten Ein-Chip-Positionssystems in naher Zukunft zur allgemeinen Ausstattung von Mobiltelefonen gehören wird. Die GPS-Technik kann durch das europäische Galileo-System im Jahr 2010 abgelöst werden (QU 064).

G. GSM-Detektion, die zellenbasiert die Position der Passanten über deren Mobil-Telefon ermittelt und z. B. mit Laufzeit- und Feldstärkemessung verfeinert. Die Detektion erfolgt entweder an der Basis-Station oder im Mobiltelefon (QU 065).

3.4 Fortsetzung Detektions-Komponenten Passanten

H. RFID-Sensoren, die unter Verwendung von RFID-Technik (Radio Frequency Identification) Signale von z. B. am Schlüsselbund oder zukünftig in der Kleidung mitgeführten Transpondern orten (QU 066).

Anwendungen dieser Sensortechniken finden sich beispielsweise in der Verkehrslogistik (A), in der Automobilindustrie zur Steigerung der Verkehrssicherheit (B D) und in der Warenlogistik (H). „Location Based Services“ wie „Track-your-kid“ (QU 067) orten das Handy eines Kindes (G) oder übermitteln bei Notrufen automatisch den Anruferstandort (F G), wofür die EU sogar eine generelle Ortungstechnik für Handys vorschreiben will (QU 068).

Eine Datenfusion der Sensortechniken ergibt zusätzliche Anwendungen wie z. B. für die automatische LKW-Mauterhebung (QU 069) von Toll Collect (A F G) oder für die Entwicklung autonomer Kraftfahrzeuge (QU 070), die sich fahrerlos im Strassenverkehr bewegen (A B D F G).

Für Stadtlicht-Anwendungen kann aus den beschriebenen Sensortechniken (A = optoelektronische Sensoren, B = Laserscanner, C = Bewegungs- bzw. Präsenzmelder, D = Radar-Sensoren, E = WLAN-Detektion, F = Satellitenortung, G = GSM-Detektion, H = RFID-Sensoren) gewählt werden, wobei neben den Kosten und der Baugrösse folgende Kriterien zu berücksichtigen sind:

28

- **Reichweite:** Bei einer Montage der Positions-Sensoren an den Leuchten wäre eine grössere Reichweite der Sensoren als der halbe Leuchten-Abstand sinnvoll. Deshalb ist z. B. die unter C aufgeführte Technik nur beschränkt einsatzfähig.

- **Genauigkeit:** Je genauer die Position zu ermitteln ist, desto exakter ist das zu beleuchtende Passanten-Umfeld auszulegen. Deshalb erfordert G die beschriebenen Verfeinerungen.

- **Verschattungseffekte:** Bäume, Stadtmobiliar, parkende LKWs etc. stören infolge ihrer „Verschattungseffekte“. Diese können bei den Sensortechniken A B C und D auftreten.

- **Detektions-Frequenz:** Die maximale innerstädtische Geschwindigkeit von Kfz-Fahrern (60km/h = ca. 15m/s) als schnellste Passanten bestimmt unter Berücksichtigung des Leuchtenabstandes (z. B. 30m) die minimale Detektions-Frequenz von 2 Sekunden (A - H).

- **Anfälligkeit:** Bei Regen oder Schneefall können sich z. B. bei A und B Detektionsstörungen ergeben, die durch zusätzliche Techniken ausgeglichen werden müssen.

- **Komplexität:** Die Komplexität der Technik sollte bei einem dezentralen Detektionssystem (A - E, H) an die Komplexität der Aufgabe angepasst werden. Für die Ortung von Passanten z. B. auf Parkwegen ist eine wesentlich einfachere Technik erforderlich als bei komplexen Verkehrssituationen.

Die spezifische Auswahl der Sensortechniken mithilfe dieser Kriterien wird sich in naher Zukunft noch wesentlich erweitern, da Positionsdetektion ein grosses Forschungsfeld mit einem gewaltigen Marktpotential aufspannt (QU 071).

Sensor Identität

Ein ausreichender Datenschutz muss bei allen Anwendungen mit Passanten-Ortung grundsätzlich gewährleistet sein. Ansonsten bestünde die Gefahr einer Vernetzung von Positionsdaten mit Datenbanken, die personenbezogene Daten beinhalten. Durch die Verknüpfung von realer und virtueller Welt könnte eine perfekte Überwachungsinfrastruktur mit sehr genauen Profilen der Passanten entstehen (QU 072). Um dies zu vermeiden, ist eine Anonymisierung der Positionsdaten unbedingt erforderlich.

Bei speziellen Anwendungen bietet sich jedoch eine Aufhebung der Anonymisierung an. „Track your kid“ (siehe S. 29) ist ein gutes Beispiel dafür, da das Mobiltelefon eines bestimmten Kindes geortet werden soll. Diese personenbezogene Positionserkennung könnte neben der zuvor erläuterten anonymen Positionserkennung als Stadtlicht-Komponente sinnvoll sein. Deshalb wird sie den Detektions-Komponenten hinzugefügt und wäre am einfachsten unter Verwendung der Sensortechniken F G H zu realisieren.

3.5 Steuerungs-Komponenten

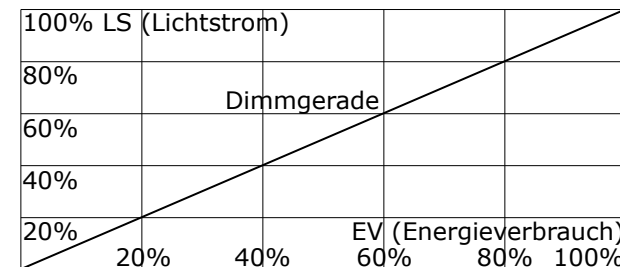
In den vorangegangenen Kapiteln (Kap. 3.2-3.4) sind Detektions-Komponenten erfasst worden, die eine Anpassung an bestimmte Situationen und Benutzer bewirken. Nun werden Komponenten ermittelt, die für die Steuerung des Stadtlichtes zuständig sind.

Im Laufe der Lichtgeschichte entwickelte sich für die Steuerbarkeit der Flamme, d. h. für ihre „Kultivierung“, eine immer perfektere Trennung zwischen Flamme und Aussenwelt: Vom einfachen Windschutz aus transparenten oder perforierten Materialien über den Glaszylinder konnte schliesslich die komplette Isolierung der Flamme von der Aussenwelt im 19. Jahrhundert durch den Glaskolben der Glühlampe stattfinden (QU 073). Die erzielte Gleichförmigkeit der „Flamme“ schafft die Grundlage für eine umfassende Kontrolle der Steuerung von Helligkeit und Lichtfarbe.

Steuerung Helligkeit

Aus einem Verstell-Mechanismus der Dochtlänge für Kerzen und Öllampen entstand der Gashahn zur Regulierung der Gasflamme, welcher sich zum elektrischen Schalter und Dimmer für Elektrolicht weiterentwickelte (QU 074). Nachdem durch den Einsatz von Hochdrucklampen ein Rückschritt in der Helligkeitssteuerung erfolgte (Kap. 1.4, 1.5), bieten sich mit der Einführung der LED-Beleuchtung unbegrenzte Modulations-Möglichkeiten der Helligkeit. Dabei besteht - unter Vernachlässigung minimaler Treiberverluste (Kap. 3.6) - eine in AB 27 dargestellte Proportionalität zwischen Lichtstrom (LS) und Energieverbrauch (EV).

30



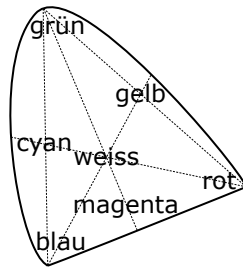
AB 27: Dimmgerade einer LED ohne Treiberverluste

Steuerung Lichtfarbe

Seit der Antike sind Farbfilter zur Beeinflussung der Lichtfarbe mittels eingefärbter Gläser vor Öllampen nachgewiesen (QU 075). Erste Farb-Manipulationen direkt im Leuchtmittel erfolgten spätestens am Anfang des 20. Jahrhunderts mit dem Einsatz farbiger Leuchtstoffe in Leuchtstofflampen.

Dasselbe Prinzip wird bei der Herstellung farbiger LEDs verwendet, wobei statt Leuchtstoffe unterschiedliche Materialien

- 31 LED-Kristalle rot, grün oder blau leuchten lassen. In Abhängigkeit zu ihrer jeweiligen Helligkeits-Steuerung lassen sich dadurch die Spektralfarben und weisses Licht mischen (QU 076 / AB 28).



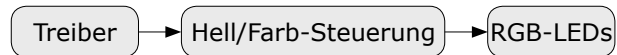
AB 28: Farbdreieck

Zentrale

Bis ins 19. Jahrhundert musste jede Flamme einzeln gesteuert werden. Erst durch die Einführung städtischer Versorgungsleitungen für die Gas- und Elektrizitätsversorgung war eine zentrale Beleuchtungssteuerung möglich (QU 077). Diese entwickelte sich technisch zu Strassenlicht-Management-Systemen weiter, wobei eine Einzellichtpunkt-Steuerung - als nächster Entwicklungsschritt - bereits möglich ist. Neben einer individuellen Steuerung der Leuchten von einer Zentrale aus leistet Einzellichtpunkt-Steuerung Überwachungsfunktionen, Status-Abfragen der einzelnen Lichtpunkte und die Integration eines Benutzer-Services (QU 078).

Zur Kommunikation zwischen Zentrale und den einzelnen Lichtpunkten bietet sich sowohl eine Powerlinetechnologie (Kommunikation über Stromleitung) als auch eine Funktechnologie an. Letztere wird - bei Bedarf mit WLAN-Verknüpfung - die zukunftsweisendere Technologie für Anwendungen von Adaptivem Stadtlicht sein und deshalb als Kommunikations-Basis betrachtet (QU 079).

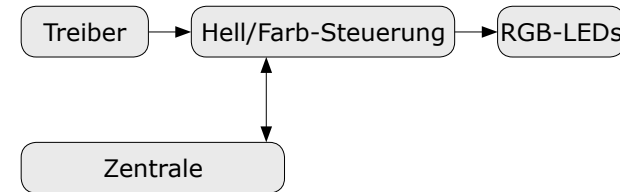
3.6 Funktionsschema Adaptives Stadtlicht



AB 29: Grundschemata

Die ermittelten Detektions- und Steuerungs-Komponenten (Kap. 3.2-3.5) lassen sich zu einem Funktionsschema verknüpfen, das dem Betrieb von Adaptivem Stadtlicht dienen wird.

Grundlage bildet die LED-Beleuchtung mit einem vorgeschalteten Steuergerät, das sowohl für die Steuerung der Helligkeit als auch für die Steuerung der Lichtfarbe zuständig ist (Kap. 3.5). Gedimmt, gefärbt, geblinkt oder geblitzt wird mittels Pulsweitenmodulation (PWM). Der Strom ist dabei nur für eine bestimmte Dauer periodisch eingeschaltet, sodass die LED für das „träge“ menschliche Auge mehr oder weniger hell bzw. unterschiedlich farbig erscheint. Eine PWM-Dimmer-Schaltung setzt einen LED-Treiber voraus, der sich zwischen Stromzufuhr und Steuergerät befindet und gleichzeitig der Spannungs-Konvertierung von 220 V auf beispielsweise 24 V dient (QU 080). Daraus ergibt sich das oben dargestellte Grundschemata (AB 29).

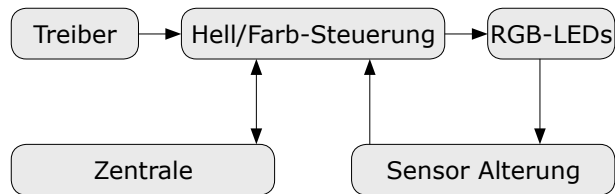


AB 30: Grundschemata mit Zentrale

Diesem Grundschemata lassen sich zwei Komponenten anfügen: die Zentrale (AB 30) und die Komponente „Sensor Alterung“ (AB 31).

Erstere kommuniziert über Funk mit den einzelnen Leuchten zur Überwachung und Übermittlung übergeordneter Informationen (Kap. 3.5).

Zweitere, die Komponente „Sensor Alterung“, bezieht leuchteninterne Veränderung ein. Direkt bei den LEDs angebrachte Sensoren messen die alterungsbedingte Abnahme des Lichtstroms, wirken über die Steuerung den Änderungen entgegen und gewährleisten dadurch gleichbleibende Helligkeit und Lichtfarbe (Kap. 3.2).



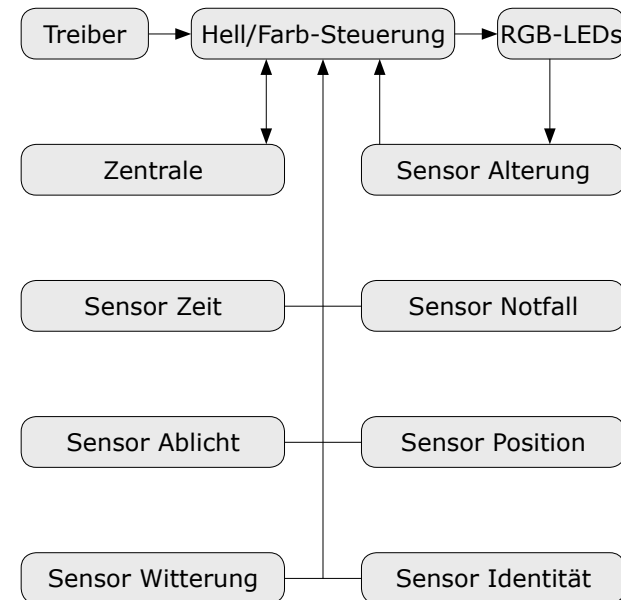
AB 31: Grundschemata mit Zentrale und Sensor Alterung

Zuletzt werden in das mit den Komponenten „Zentrale“ und „Sensor Alterung“ versehene Grundschemata die restlichen

33 Komponenten einbezogen:

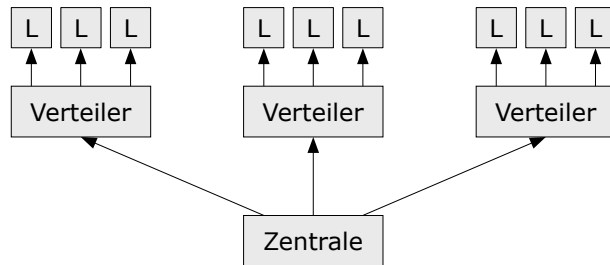
- Die übrigen Detektions-Komponenten Umwelt zur Erfassung der Zeit, des Ablichtes und der Witterung (Kap. 3.2).
- Die Detektions-Komponente für Notfälle (Kap. 3.3).
- Die Detektions-Komponenten Passanten zur Erfassung der Passanten-Positionen bzw. der Passanten-Identität (Kap. 3.4).

Das Resultat ist das Funktionsschema Adaptives Stadtlicht (AB 32), das alle ermittelten Komponenten beinhaltet und den Ausgangspunkt der folgenden Abwendungen bildet.



AB 32: Funktionsschema generell

3.7 Anmerkung

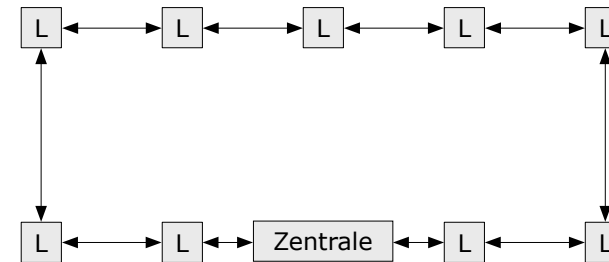


AB 33: Bestand (hierarchische Struktur)

Wie an Nabelschnüren hängen zumeist die einzelnen Leuchten (L) des Stadtlichtes an Verteilerkästen, welche wiederum mit der Zentrale verbunden sind (AB 33). Diese ist sowohl für die Energieversorgung als auch für eine eingeschränkte Steuerung wie das Ein- und Ausschalten zuständig.

Je mehr Sensorik für adaptive Anwendungen direkt in den jeweiligen Leuchten oder in der Leuchtenumgebung angeordnet ist, desto unabhängiger werden die einzelnen Lichtpunkte. Zwei Konsequenzen ergeben sich daraus:

Leuchten-Netzwerke: Die Verbindung mit der Zentrale über Funk wird zwar in untergeordneter Form bestehen bleiben,



AB 34: Leuchten-Netzwerke

doch die Leuchten können in selbstorganisierende Netzwerke umstrukturiert werden. Sie würden drahtlos untereinander kommunizieren (QU 081) und überführen die bisherige Hierarchie in eine dezentrale Ordnung (AB 34).

Energieversorgung: Die Nabelschnur zur Energieversorgung könnte bei einer Aufrüstung der Leuchten mit Solarkollektoren gekappt werden. Die geringe Leistung von Solarkollektoren wird allerdings nur dann ausreichen, wenn mit Adaptivem Stadtlicht ein wesentlich geringerer Energieverbrauch einhergeht.

4

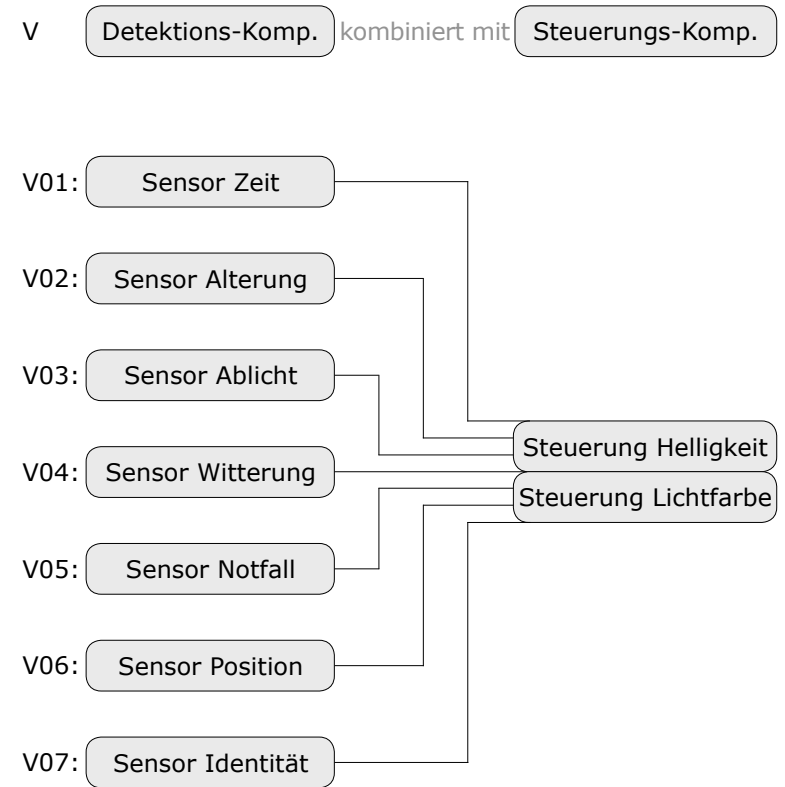
■ Die Adaptionen für Sicherheitslicht

4.1 Vorbemerkung

Nachdem die vorbereitenden Schritte aus Kap. 2 und 3 abgeschlossen sind, ist der Weg für die Entwicklung von Anwendungen - zunächst ausschliesslich für Sicherheitslicht - frei. Es gilt, die sieben Detektions-Komponenten (Zeit, Alterung, Ablicht, Witterung, Notfall, Position und Identität) aus Kap. 3.2 - 3.4 jeweils mit den beiden Steuerungs-Komponenten (Helligkeit und Lichtfarbe) aus Kap. 3.5 zu kombinieren.

35 So ergibt sich die Versuchsreihe V01-V07 (AB 35) mit insgesamt 7 x 2 Versuchspaaren.

Um bei der Anzahl der Versuche die Übersicht nicht zu verlieren, wird nach jedem Versuch eine Prüfung zwischengeschaltet. Dabei ist die Frage massgeblich, inwieweit sich die gefundene Anwendung zu einer Aufwertung der Sicherheitsbeleuchtung eignet. Als Beurteilungskriterien dienen die in Kap. 2.2 - 2.5 ermittelten Qualitäten (gesundes, reduziertes, sicheres und preiswertes Licht), die nun für die Bewertung (++, +, o, -, --) der Komponentenpaare zuständig sind. Der Versuchsreihe wird nun also die Autorität des weiteren Vorgehens übertragen.



AB 35: Ablauf der Versuchsreihe

4.2 V01: Bioadaptation

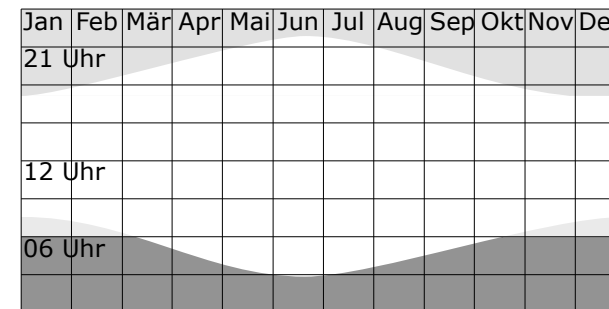
Sensor Zeit

kombiniert mit

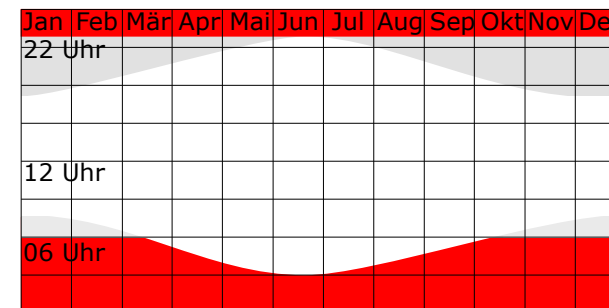
Steuerung Helligkeit

Das ersten Komponentenpaar der Versuchsreihe bildet sich aus der Kombination „Sensor Zeit“ und „Steuerung Helligkeit“. Als „Nachtschaltung“ ist diese Verringerung der Beleuchtungsstärke ab einer bestimmten Uhrzeit (z. B. von 24.00 Uhr bis 6.00 Uhr) bereits aus Kap. 2.5 bekannt. Die Vorteile einer Nachtschaltung wurden dort diskutiert. Bei einer 6-stündigen Absenkung auf 50% (AB 36) ergaben sich ökonomische Einsparungen von 27% der Energiekosten. Aus der Reduzierung der Lichtemissionen resultieren ausserdem ökologische und medizinische Vorteile.

Aber auch der sicherheitstechnische Aspekt von Nachtschaltungen muss bei der Auswahl berücksichtigt werden: Weniger Beleuchtung bedeutet in diesem Fall eine schlechtere Erkennbarkeit von nicht beleuchteten Verkehrsteilnehmern. Die Sicherheit ist folglich eingeschränkt, sodass sich diese Anwendung nur bedingt eignet. Deshalb kann dieses Komponentenpaar nur mit Unterstützung anderer Anwendungen in Kap. 4.7 weiter berücksichtigt werden.



AB 36: ■ Nachtschaltung 50% von 24.00 Uhr bis 6.00 Uhr



AB 37: ■ Bioadaptation von 22.00 Uhr bis 6.00 Uhr

Sensor Zeit

kombiniert mit

Steuerung Lichtfarbe

Bei dem zweiten Komponentenpaar ist die „Steuerung Helligkeit“ mit der „Steuerung Lichtfarbe“ ausgetauscht: Zu einer bestimmten Uhrzeit wechselt die Lichtfarbe. Wenn wir uns an den Verdacht von Gesundheitsstörungen durch öffentliche Beleuchtung und an die umfangreichen Umweltschäden durch Kunstlicht erinnern, bietet diese Kombination eine Lösung dieser Defizite: Während einer definierten Zeit - z. B. während

37 der Hauptschlafenszeit von 22.00 bis 6.00 Uhr - verändert sich die Lichtfarbe von weiss zu rot (AB 37). Diese einfache Massnahme führt zu folgenden Konsequenzen:

++ Aus medizinischer Sicht wird die Melatonin-Produktion nicht mehr gestört (Kap. 2.2), deshalb ist mit einer Senkung von Krebserkrankungen und von Depressionen zu rechnen.

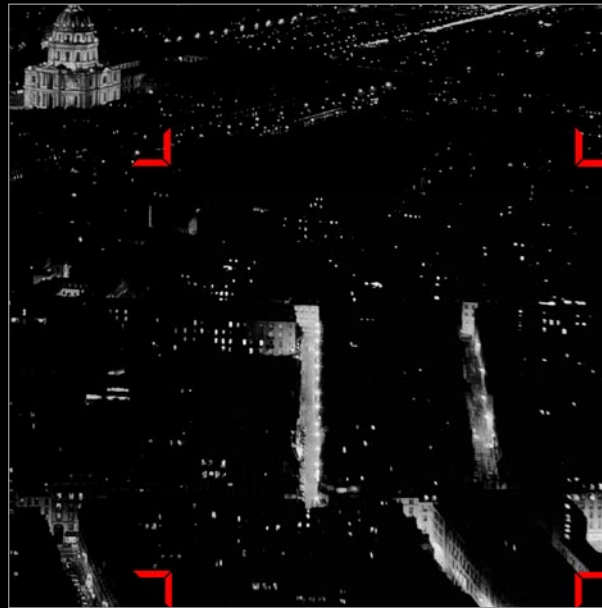
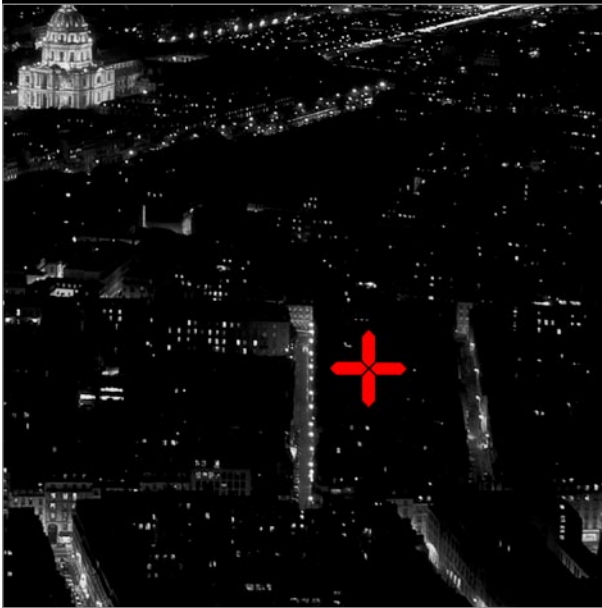
++ Aus ökologischer Sicht minimiert sich die Gefährdung für nachtaktive Insekten durch öffentliche Beleuchtung. Der „Staubsaugereffekt“ (Kap. 2.3) mit seinen vernichtenden Auswirkungen auf die gesamte Umwelt ist ausgeschaltet.

(**-**) Aus sicherheitstechnischer Sicht ergibt sich eine Einschränkung: Die für die Farberkennung zuständigen Zapfen im menschlichen Auge funktionieren bei sehr wenig Licht nur noch eingeschränkt. Mit höheren Beleuchtungsstärken könnten eventuelle Sicherheits-Einschränkungen ausgeglichen werden.

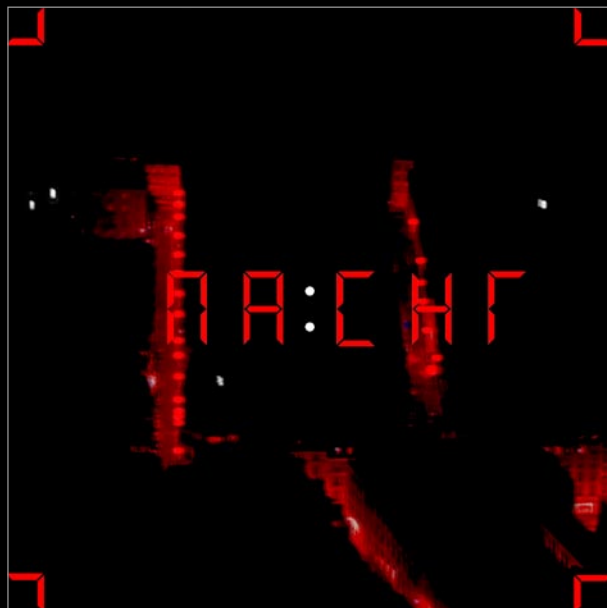
o Aus ökonomischer Sicht würde eine erforderliche Erhöhung der Lichtströme Zusatzkosten hervorrufen. Demgegenüber entstehen durch die Reduzierung der gesundheitlichen Schäden geringere volkswirtschaftlichere Belastungen.

Aufgrund der weitreichenden medizinischen und ökologischen Vorteile wird diese Anwendung ausgewählt, als Bioadaptation bezeichnet und nachfolgend visualisiert (siehe AB 38 nächste Seite).

Medizin	Ökologie	Sicherheit	Ökonomie
++	++	(-)	o



AB 38: Bioadaption zwischen 22.00 Uhr und 6.00 Uhr



4.3 V02: Alterungsadaption

Sensor Alterung

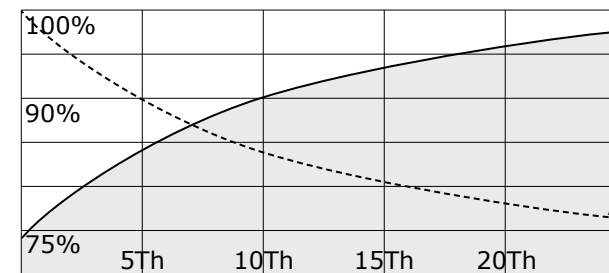
kombiniert mit

Steuerung Helligkeit

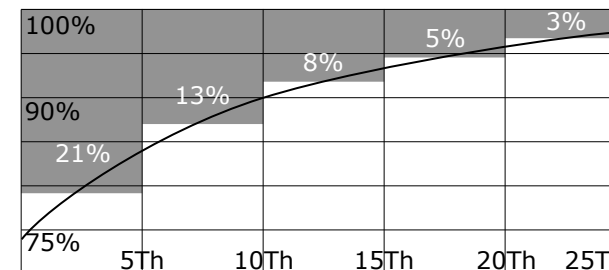
Inwieweit ist eine alterungsangepasste Steuerung der Helligkeit sinnvoll? Bisher wird bei der Dimensionierung von Leuchtmitteln mit einem Energie-Überschuss gearbeitet, der durch den bereits erwähnten Verminderungsfaktor zustande kommt (Kap. 3.2).

Mit dem Einsatz von Hochleistungs-LEDs kann der Energie-Überschuss verhindert werden, da über die ständige Steuerung der Helligkeit, also über eine bedarfsgerechte Regelung des Lichtstroms, die Alterung des Leuchtmittels ausgeglichen werden kann.

Um einen konstanten Lichtstrom zu erreichen, muss deshalb anfänglich nur 75% Energie aufgewendet werden, die dann langsam auf 100% zu steigern ist (AB 39, Kurve E). Statt eines ständigen Energiebedarfs von 100% führt diese Adaption zu Einsparungen von anfänglich 21%, dann 13%, 8%, 5% und 3% (AB 40). Gemittelt wird so in den ersten 25.000 Beleuchtungs-Stunden 10% bzw. über die gesamte LED-Lebensdauer von 50.000 h 5% Energie eingespart.



AB 39: Alterung (A) in Tausend Stunden [Th] und einzusetzende Energie (E) für konstanten LED-Lichtstrom



AB 40: Einsparung durch Anpassung an LED-Alterung [Th]

++ Diese Adaption bewirkt eine durchschnittliche Reduzierung der Energiekosten um 5%. Zusätzlich erhöht sich die Lebensdauer der LEDs infolge der anfangs geringer dimensionierten Lichtströme.

+ Die medizinisch-ökologischen Vorteile beruhen auf der Reduzierung von Licht-Emissionen um 5%.

o Blendungen werden geringfügig optimiert und führen zu einer unwesentlich grösseren Sicherheit.

Somit ergibt sich eine durchweg positive Bewertung der Anwendung, die deshalb als Alterungsadaption im weiteren Verlauf der Untersuchung Berücksichtigung findet.

Medizin	Ökologie	Sicherheit	Ökonomie
+	+	o	++

Sensor Alterung

kombiniert mit

Steuerung Lichtfarbe

Die Verwendung einer sensorgesteuerten Altersanpassung der Lichtfarbe besteht bereits in LED-Medienwänden (Kap. 3.5). Als „Weissabgleich“ bezeichnet, werden die unterschiedlichen Alterungsprofile verschiedenfarbiger LEDs ausgeglichen und dadurch über die gesamte LED-Lebensdauer gleichbleibende Lichtfarben erreicht. Aufgrund grösserer Farbtoleranzen bei Sicherheitslicht aber auch bei dem später zu behandelnden Fest- und Werbelicht spielt diese Anwendung jedoch keine weitere Rolle.

4.4 V03: Ablichtadaption

Sensor Ablicht

kombiniert mit

Steuerung Helligkeit

Dieses Versuchspaar bildet sich aus der Detektions-Komponenten „Sensor Ablicht“ und der Steuerungs-Komponenten „Steuerung Helligkeit“. Durch die Kombination entsteht die Möglichkeit einer Einbeziehung des natürlichen und des künstlichen Ablichtes (Kap. 3.2). Egal ob Dämmerung, Mondschein oder Schaufenster-Licht, jedes natürliche oder künstliche Ablicht wird für eine bedarfsgerechte Beleuchtung mit berücksichtigt.

Statt des konventionellen Ein- und Ausschaltens kann die stufenlose Modulations-Fähigkeit der LED-Technik eine ständige Beleuchtungs-Optimierung bewirken. Das Sicherheits-Licht leuchtet zu und fügt sich in die Umgebungshelligkeit ein.

Daraus ergeben sich folgende Aufwertungen des Stadtlichtes:

+ Medizinisch-ökologische Vorteile durch Senkungen des allgemeinen Beleuchtungs-Niveaus.

o Sicherheitstechnisch zu vernachlässigende Veränderungen, da eine bedarfsgerechte Beleuchtung gewährleistet ist.

++ Ökonomische Entlastungen durch geringeren Energieverbrauch und längere Lebensdauer der LEDs.

Neben den genannten Vorteilen gibt es keine Einschränkungen durch die Anwendung, die deshalb als Ablichtadaption in die Kollektion eingeht und in AB 41 rechts dargestellt ist. 42

Medizin	Ökologie	Sicherheit	Ökonomie
+	+	o	++

Der Vollständigkeit halber ist noch die folgende Kombination zu erwähnen, die jedoch kein Verbesserungs-Potential berührt.

Sensor Ablicht

kombiniert mit

Steuerung Lichtfarbe



AB 41: Ablichtadaption mit und ohne Umgebungshelligkeit (Strassenleuchte gedimmt / ungedimmt)

4.5 V04: Witterungsadaption

Sensor Witterung

kombiniert mit

Steuerung Helligkeit

Während der vorangegangene V03 (Kap. 4.4) die Beleuchtungsstärke des Umgebungslichtes einbezieht, wird nun der Einfluss der Witterung auf das Sicherheitslicht untersucht. Unter Zuhilfenahme der Qualitätskriterien werden die Auswirkungen geprüft, die aus Helligkeits-Anpassungen an Regen, Schnee und Nebel resultieren:

+ Aus medizinischer und ökologischer Perspektive ergeben sich Vorteile durch eine zeitweise Reduzierung der Lichtintensität.

++ Haupt-Profiteur dieser Anwendung wird die Sicherheit im Strassenverkehr sein. Die Berücksichtigung unterschiedlicher Witterungsverhältnisse ist Bestandteil eines neuen Sicherheitskonzeptes: Statt einer passiven Sicherheit mit gleichmässig hohen Beleuchtungsstärken werden durch Regen, Schnee und Nebel hervorgerufene wechselnde Leuchtdichten ausgeglichen. Diese „Aktive Sicherheit“ (Kap. 2.4) berücksichtigt die Witterungsverhältnisse und steigert dadurch die persönliche Sicherheit und die Verkehrssicherheit.

+ Aus ökonomischer Sicht hat „Aktive Sicherheit“ das Potential zur Senkung von Unfallzahlen mit der Folge von finanziellen Entlastungen der Volkswirtschaft. Gleichzeitig werden sich durch die temporären Helligkeits-Senkungen die Energiekosten geringfügig verringern. Deshalb ist die Anwendung von Witterungsadaption sinnvoll.

Medizin	Ökologie	Sicherheit	Ökonomie
+	+	++	+

44

Mit der folgenden Kombination (s. u.) entsteht eine durch Witterung ausgelöste Veränderung der Lichtfarbe, die allerdings höchstens zur Notfall-Signalisierung zweckmässig sein könnte und deshalb in der nächsten Anwendung „Notfalladaption“ zu diskutieren sein wird.

Sensor Witterung

kombiniert mit

Steuerung Lichtfarbe

4.6 V05: Notfalladaption

Sensor Notfall

kombiniert mit

Steuerung Helligkeit
Lichtfarbe

Die wiederentdeckte Notfall-Komponente (Kap. 3.3) wandelt das Sicherheitslicht zum Signallicht. Da eine Signalisierung sowohl durch Helligkeitsveränderung als auch durch Farbveränderung erfolgen kann, werden beide Steuerungs-Komponenten gleichzeitig kombiniert. Es ist von unterschiedlichen Modulationen der Lichtintensität und Lichtfarbe in verschiedenen Geschwindigkeiten auszugehen - entweder als langsame Helligkeits- oder Farbveränderung oder als schnelles Blinken oder Blitzen.

Signalisiert werden Notfälle wie extreme Witterungsbedingungen (Kap. 4.5), Unfall- und Baustellen sowie Rettungsfahrzeuge mit folgenden Auswirkungen:

o

Für die Bewohner und die Umwelt ergeben sich keine Konsequenzen.

++

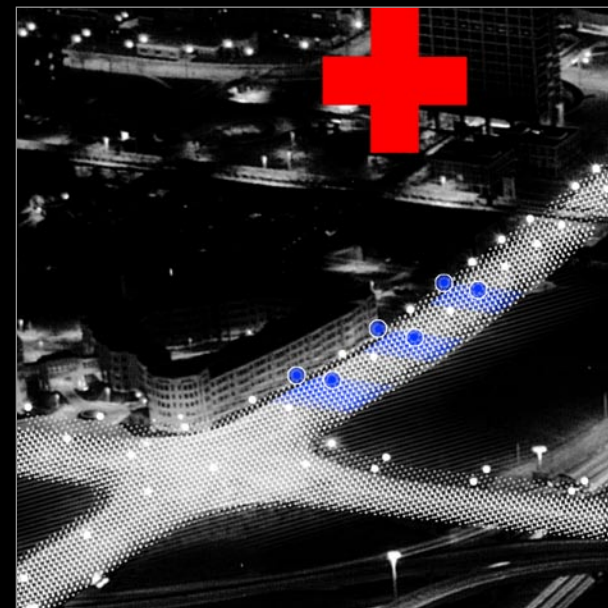
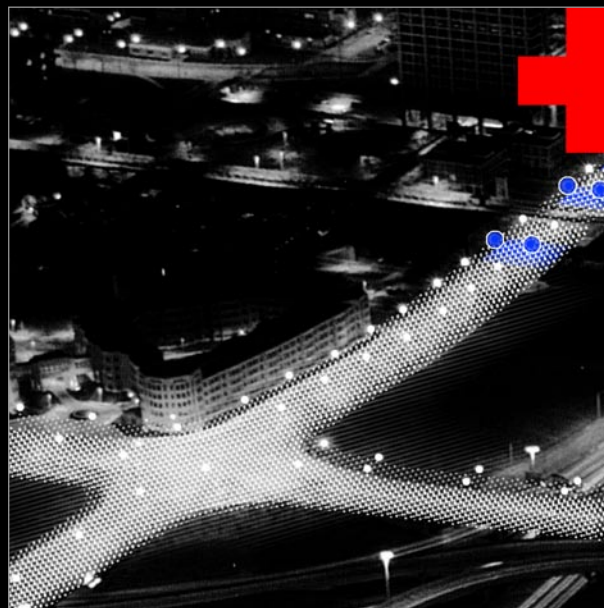
Der zusätzliche Hinweis auf Notfallsituationen im Straßenverkehr warnt die Verkehrsteilnehmer, steigert deren Sicherheit und reduziert Unfälle.

+

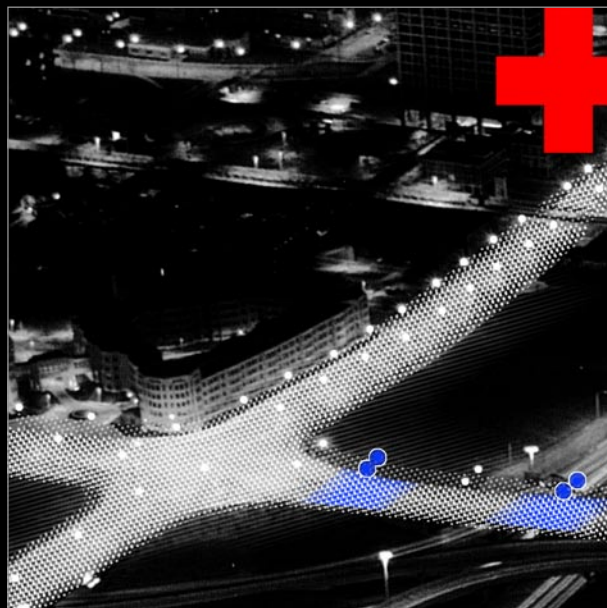
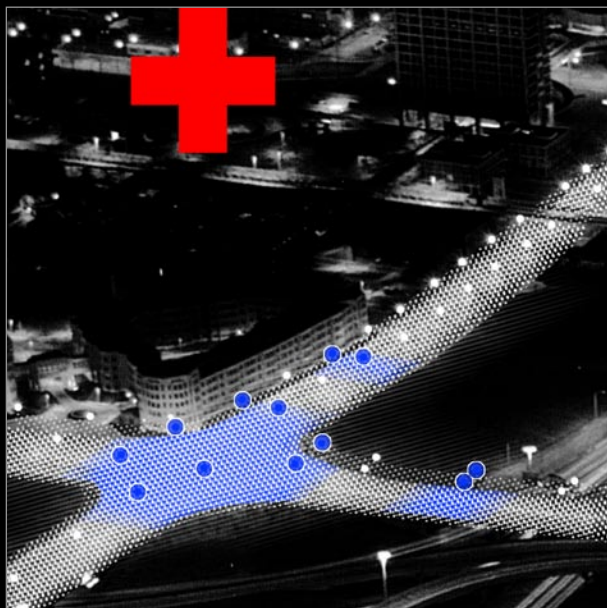
Die Reduzierung von Unfällen entlastet zwar nicht die Betreiber des Stadtlichtes, jedoch die Volkswirtschaft.

Hauptsächlich aus sicherheitstechnischen Gründen ist die in AB 42 abgebildete Anwendung „Notfalladaption“ zweckmäßig.

Medizin	Ökologie	Sicherheit	Ökonomie
o	o	++	+



AB 42: Beispiel einer Notfalladaption durch Rettungsfahrzeug



4.7 V06: Positionsadaption

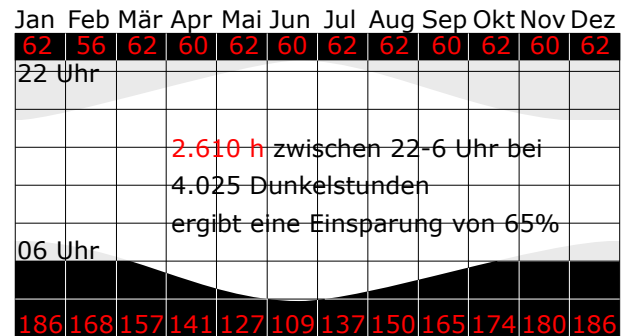
Sensor Position

kombiniert mit

Steuerung Helligkeit

In diesem Fall verändert sich die Helligkeit des Sicherheitslichtes infolge der Ortung von Passanten. Mögliche Techniken hierfür wurden in Kap. 3.4 beschrieben. Das direkte Umfeld eines Passanten ist heller zu beleuchten, um die komplette Verkehrssicherheit zu gewährleisten - die restliche Umgebung kann abgedunkelt bleiben.

Denn warum muss in Bereichen beleuchtet werden, wo kein Licht gebraucht wird?



AB 43: ■ Einsparung durch Abschalten von 22-6 Uhr

Die als „Positionsadaption“ bezeichnete Anwendung ist nur in Zeiten mit geringem Passantenverkehr sinnvoll, ansonsten würde sich die Helligkeit der Beleuchtung fortwährend verändern. Um diese Beeinträchtigung auszuschliessen, wird von einer durchschnittlichen Anwendungs-Dauer von 22.00 Uhr - 6.00 Uhr ausgegangen.

Aus AB 43 ergeben sich bei einer kompletten Abschaltung und einer ausschliesslich positionsadaptiven Beleuchtung (deren geringer Energieverbrauch nicht weiter berücksichtigt wird) zwischen 22.00 und 6.00 Uhr Einsparungen von 65%.

Alternativ zur kompletten Abschaltung bietet sich während desselben Zeitraumes eine Nachtschaltung mit einer Absenkung des Lichtstroms von 100% auf beispielsweise 30% an. Dann allerdings mit der Konsequenz geringerer Einsparungen: Statt 2.610 h zwischen 22.00 - 6.00 Uhr nur noch $2.610 \text{ h} \times 0,7 = 1.827 \text{ h}$ Einsparungen, immerhin noch 45% weniger Beleuchtungsstunden.

++ Die enormen Energieeinsparungen bzw. Beleuchtungsreduzierungen bis zu 65% versprechen grosse medizinische, ökologische und ökonomische Vorteile.

49 (++) Bleibt noch die Frage nach der entstehenden Sicherheit. Für diese ist laut DIN EN 13201 (Kap. 2.4) als Bewertungs-Umfeld ein Passantenabstand von 60 m + ein Leuchtenabstand von ca. 30 m massgeblich. Somit ergibt sich eine Beleuchtungszone mit 90 m Radius.

Aus physiologischen Gründen wird zur Kontrast-Minderung zusätzlich eine Übergangs-Zone zwischen Beleuchtungs-Zone und restlicher Umgebung definiert. Der Kfz-Fahrer als ungünstigster Fall legt bei einer maximalen Geschwindigkeit von 60 km/h ca. 15 m pro Sekunde zurück (Kap. 3.4). Für eine Dimmzeit von 2 Sekunden zwischen Umgebungshelligkeit und Beleuchtungszonen-Helligkeit folgt daraus eine Übergangszone von 30 m. So lässt sich die Übergangszone mit den Parametern Passantengeschwindigkeit, Umgebungshelligkeit und gewünschte Modulationszeit bedarfsgerecht einstellen.

Ein weiterer Sicherheitsaspekt ist die „Aktive Sicherheit“. Sie ermöglicht in diesem Fall eine Absenkung des allgemeinen Beleuchtungs-Niveaus durch Positionsadaption, ein besseres Erkennen von Passanten untereinander und damit eine Steigerung der Sicherheit. Denn die Wahrnehmung ist nicht mehr ausschliesslich auf das Sehen von Passanten beschränkt, sondern wird auf das Erkennen ihres gesamten, sich bewegenden Beleuchtungs-Umfeldes erweitert (AB 44).

Neben der Sicherheit durch eine normgerechte 90m-Beleuchtungs-Zone und durch eine kontrastmindernde 30m-Übergangszone signalisiert „Aktive Sicherheit“ die Position aller Verkehrsteilnehmer und schafft zusätzliche Sicherheit. Letzteres ist in Probe-Anwendungen nachzuweisen. Deshalb wird diese Beurteilung der sonst sehr positiv eingeordneten und ausgewählten Anwendung „Positionsadaption“ eingeklammert.

Medizin	Ökologie	Sicherheit	Ökonomie
++	++	(++)	++



AB 44: Positionsadaption





AB 45: Bio-Positionsadaption



4.7 Fortsetzung V06: Bio-Positionsadaption

Sensor Position

kombiniert mit

Steuerung Lichtfarbe

Auf der vorangegangenen Doppelseite ist in AB 45 diese Anwendung bereits dargestellt. Sie entsteht unter Beibehaltung der Detektions-Komponente „Sensor Position“ durch Austausch der Steuerungs-Komponente „Steuerung Helligkeit“ mit „Steuerung Lichtfarbe“. Einfacher ausgedrückt: Bei Passantenortung verändert sich die Lichtfarbe statt der Helligkeit.

Die rote Beleuchtung der Bioadaption (Kap. 4.2) eignet sich für diese Anwendung: Die direkte Passanten-Umgebung wandelt ihre Lichtfarbe von rot zu weiss. Die daraus resultierenden Auswirkungen sind teilweise mit jenen der Bioadaption bzw. der Positionsadaption vergleichbar:

++ Die mutmasslichen Störungen der Melatonin-Produktion mit weitreichenden negativen Folgen für die Gesundheit können ausgeschlossen werden, da der kurzfristige Farbwechsel von roter zu weisser Beleuchtung aus gesundheitlicher Sicht zu vernachlässigen ist.

++ Ebenso schliesst das überwiegend rote Licht den „Staubsaugereffekt“ bei nachtaktiven Insekten mit seinen negativen Auswirkungen auf die gesamte Umwelt aus.

++ Statt der sicherheitstechnischen Einschränkungen von Bioadaption kommen die Vorzüge der Positionsadaption zur Geltung, weil sich an Stellen mit Bedarf an Personen- und Verkehrssicherheit die Beleuchtung von rot auf weiss färbt.

+ Durch eine Reduzierung der gesundheitlichen Schäden entstehen geringere volkswirtschaftlichere Belastungen

Die medizinischen und ökologischen Vorteile von Bioadaption vereinen sich mit den sicherheitstechnischen Vorteilen der Positionsadaption bei dieser Anwendung. Sie wird deshalb als Bio-Positionsadaption bezeichnet.

Medizin	Ökologie	Sicherheit	Ökonomie
++	++	++	+

4.8 V07: Identitätsadaption

Sensor Identität

kombiniert mit

Steuerung Helligkeit
Lichtfarbe

Die Versuchsreihe für Sicherheitslicht endet mit den beiden letzten Komponentenpaaren. Die Kombination aus „Sensor Identität“ und „Steuerung Helligkeit“ bzw. „Steuerung Lichtfarbe“ ermöglicht eine Identifikation von einzelnen Personen, deren Position dann individuelle Helligkeits- bzw. Farbveränderungen der Beleuchtung bewirkt. Diese letzte potentielle Anwendung ist der Positionsadaption ähnlich, reagiert jedoch auf personenspezifische Bedürfnisse.

Die Suche nach sinnvollen Einsatzmöglichkeiten einer Individual-Beleuchtung führt zu Kindern und Senioren als Risikogruppen im Strassenverkehr (QU 082). Die Position dieser besonders gefährdeten Passanten ist durch Veränderung der Helligkeit oder Lichtfarbe zu signalisieren.

Wie bei der Notfalladaption (Kap. 4.6) kann sich beispielsweise eine weisse Grundbeleuchtung im Umfeld eines Kindes verfärben bzw. blinken. Oder eine Individual-Ortung kann zum Wechsel von Bioadaption (Kap. 4.2) zu Bio-Positionsadaption (Kap. 4.7) führen.

++ Die Signalisierung von Risikogruppen wird voraussichtlich deren Sicherheit im Strassenverkehr erhöhen. Allerdings ist aus Datenschutzgründen eine vorherige Anmeldung zur Individualisierung notwendig (Kap. 3.4).

+ Aus der Erhöhung der Verkehrssicherheit ergibt sich eine Reduzierung von Unfällen als ökonomisches Verbesserungspotential.

o Medizinische und ökologische Faktoren werden von der Anwendung Identitätsadaption unbeeinflusst bleiben.

Medizin	Ökologie	Sicherheit	Ökonomie
o	o	++	+

4.9 Ergebnis der Versuchsreihe: Acht Adaptionen

V01:	Sensor Zeit	kombiniert mit	Steuerung Lichtfarbe	=	Bioadaption
V02:	Sensor Alterung	kombiniert mit	Steuerung Helligkeit	=	Alterungsadaption
V03:	Sensor Ablicht	kombiniert mit	Steuerung Helligkeit	=	Ablichtadaption
V04:	Sensor Witterung	kombiniert mit	Steuerung Helligkeit	=	Witterungsadaption
V05:	Sensor Notfall	kombiniert mit	Steuerung Helligkeit Lichtfarbe	=	Notfalladaption
V06:	Sensor Position	kombiniert mit	Steuerung Helligkeit	=	Positionsadaption
V06:	Sensor Position	kombiniert mit	Steuerung Lichtfarbe	=	Bio-Positionsadaption
V07:	Sensor Identität	kombiniert mit	Steuerung Helligkeit Lichtfarbe	=	Identitätsadaption

5 ■ Die Adaptionen für Fest- und Werbelicht

5.1 Vorbemerkung

Bislang wurden adaptive Anwendungen ausschliesslich für Sicherheitslicht gesucht - und gefunden (Kap. 4). Um eine generelle Aussage über Adaptives Stadtlicht treffen zu können, sind die Erkenntnisse jetzt auf das Fest- und Werbelicht zu übertragen. Dieses steigert zwar die Stadtlichtattraktivität, sein durchschnittlicher quantitativer Anteil liegt jedoch nur bei ungefähr 1% - 2% (QU 083). Deshalb werden die Adaptionen für Fest- und Werbelicht nicht in der gleichen Ausführlichkeit wie diejenigen für Sicherheitslicht untersucht. Es wird nur eine generelle Aussage über eventuelle Einsatzmöglichkeiten und Qualitätssteigerung getroffen.

Da Sicherheitsaspekte bei dieser Lichtart keine Rolle spielen, bleiben sie in diesem Kapitel unbeachtet.

5.2 Transfer

Bioadaption

(Kap. 4.2)

Fest-Werbelicht

-

+ Die Berücksichtigung gesundheitlicher Belange der Anwohner und ein Schutz der Umwelt durch Bioadaption ist auch für Fest- und Werbelicht geeignet. Darüber hinaus bieten sich noch weitere Zusatz-Anwendungen durch zeitlich gesteuerte Helligkeits- und Farbwechsel der Beleuchtung an.

-- Gestalterische Einschränkungen entstehen allerdings bei einer dauerhaften Rotfärbung der Beleuchtung durch Bioadaption. Deshalb ist Bioadaption für Fest- und Werbelicht nur unter Vorbehalt möglich.

Alterungsadaption

(Kap. 4.3)

Fest-Werbelicht

+

+ Die Anpassung der Beleuchtung an das Altersprofil führt zu einer einheitlichen Beleuchtungsstärke über die gesamte Lampenlebensdauer und zu ökonomischen Vorteilen.

Ablichtadaption

(Kap. 4.4)

Fest-Werbelicht

+

+ In Abhängigkeit zum natürlichen und künstlichen Ablicht optimiert diese Adaption das Fest- und Werbelicht, da sich die Beleuchtungsstärken an wechselnde Umgebungshelligkeiten anpassen. Somit werden die erforderlichen visuellen Herausstellungen z. B. bei Gebäudeanstrahlungen verbessert und gleichzeitig die Lichtemissionen auf ein erforderliches Minimum beschränkt.

Witterungsadaption

(Kap. 4.5)

Fest-Werbelicht

+

+ Witterungsadaption gleicht witterungsbedingte Änderungen der Leuchtdichten aus. Dadurch entstehen dieselben Vorteile wie bei der vorhergehenden Ablichtadaption.

Notfalladaption (Kap. 4.6)

Fest-Werbelicht

no

no Für Fest- und Werbelicht sind Sicherheitsaspekte auszuschliessen (Kap. 5.1). Da Notfalladaption jedoch vor allem auf die Sicherheit zielt, erhält diese Anwendung ein „no“ und wird nicht weiter in Betracht gezogen.

59

Positionsadaption (Kap. 4.7)

Fest-Werbelicht

+

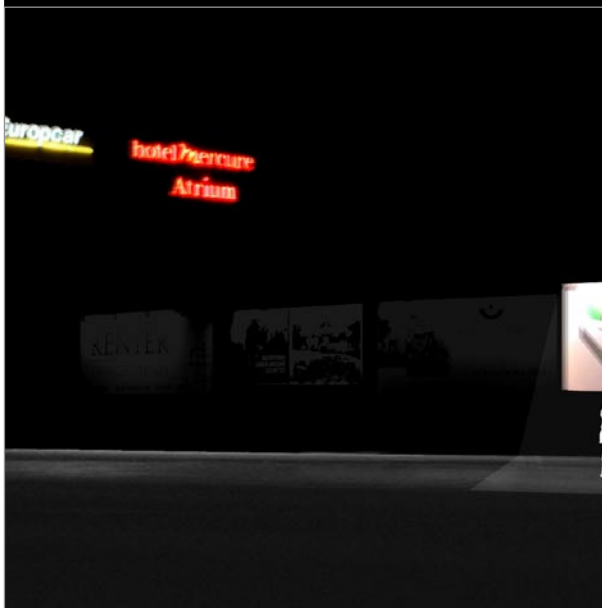
Spezielle Lichtstimmungen, Illuminationen oder Werbebotschaften werden durch Passanten ausgelöst. Sie steuern mit ihrem Aufenthaltsort die Beleuchtung und werden so in das Fest- und Werbelicht miteinbezogen. Am Beispiel einer kommerziellen Beleuchtung in Form einer Reklametafel ist dies einfach zu verdeutlichen (AB 46 nächste Seite).

Zweck der Reklame ist ausschliesslich die Kommunikation von Werbebotschaften. Diese richten sich an Passanten in einem

bestimmten Abstand. Tritt ein Passant in den Wirkungsbereich, so schaltet sich die Beleuchtung ein, entfernt er sich wieder, schaltet sich das Licht wieder aus. Im Gegensatz zu einer konstanten Beleuchtung entsteht eine wesentlich höhere Aufmerksamkeit. Der beschriebene Effekt lässt sich ohne weiteres auch auf Gebäude-Anstrahlungen und weitere Fest- und Werbelichtarten übertragen.

+ Das Reagieren von Illuminationen auf Passanten z. B. von nächtlich beleuchteten Gebäudefassaden oder Denkmälern schafft eine zusätzliche Inszenierungs-Komponente.

+ In passantenlosen Zeiten stellen sich Lichtreduzierungen ein, die sich zusammen mit der Aufmerksamkeitssteigerung durch passanten-aktivierte Illuminationen positiv auf das Fest- und Werbelicht auswirken. Deshalb ist der Einsatz von Positionsadaption für das Fest- und Werbelicht empfehlenswert.



AB 46: Positionsadaption Fest- und Werbelicht

Bio-Positionsadaption (Kap. 4.7)

Fest-Werbelicht

+

+ Wie beim Sicherheitslicht sind durch Bio-Positionsadaption die Nachteile der Bioposition für Fest- und Werbelicht auszugleichen: Rotgefärbte Illuminationen ändern bei Passantendetektion ihre Lichtfarbe von rot auf weiss und eliminieren die durch die Rotfärbung hervorgerufenen gestalterischen Einschränkungen. Ausserdem sind noch weitere durch Passanten ausgelöste Farbmodulationen denkbar. Bio-Positionsadaption

61 ist deshalb für Fest- und Werbelicht geeignet.

wenn die Beleuchtung von Sehenswürdigkeiten speziell auf sie ausgerichtet ist. Erst bei Annäherung zeigen sich touristische Attraktionen (AB 47 siehe nächste Seite), die Stationen eines nächtlichen Stadtspazierganges markieren können. Somit ist eine spezifische Lichtgestaltung für ein zielgerichtetes Marketing zu realisieren. Als letzte Anwendung führt deshalb Identitätsadaption auch für das Fest- und Werbelicht zu Vorteilen.

Identitätsadaption (Kap. 4.8)

Fest-Werbelicht

+

+ Positionsadaption lässt sich für jeden Passanten individualisieren. In Abhängigkeit zu seinem Persönlichkeitsprofil kann die Beleuchtung direkt auf den Passanten abgestimmt sein und spezielle Bedürfnisse berücksichtigen. Beispielsweise für Touristen kann das Stadterlebnis gesteigert werden,



AB 47: Individualadaption Fest- und Werbelicht



5.3 Ergebnis des Transfers

Mit Ausnahme der Notfalladaption können alle Adaptionen auf das Fest- und Werbelicht übertragen werden:

Bioadaption

Alterungsadaption

Ablichtadaption

Witterungsadaption

Positionsadaption

Bio-Positionsadaption

Identitätsadaption

6 ■ Die Qualitäten Adaptiven Stadtlichtes

6.1 Vorbemerkung

Nachdem Adaptionen sowohl für Sicherheitslicht als auch für Fest- und Werbelicht formuliert und bewertet sind, vereinen sich beide Stadtlichtarten zu Adaptivem Stadtlicht. Infolge seines extremen Übergewichtes soll die Priorität weiterhin auf dem Sicherheitslicht liegen, woraus sich zwei Konsequenzen ergeben:

In der nachfolgenden Auflistung der Adaptionen (Kap. 6.2) werden die Verbesserungs-Potentiale von Sicherheitslicht (Kap. 4) in einzelnen Spalten berücksichtigt, während eine Spalte für Fest- und Werbelicht (Kap. 5) die Zusammenfassung vervollständigt. Ausserdem konzentrieren sich Aussagen über Kombinationsmöglichkeiten auf das Sicherheitslicht (Kap. 6.3).

Abschliessend erlaubt das Kapitel durch den Vergleich der aktuellen Stadtlicht-Defizite (Kap. 2) mit den ermittelten Verbesserungen, Aussagen über die Qualitäten von Adaptivem Stadtlicht zu treffen (Kap. 6.4).

6.2 Katalog der Stadtlicht-Adaptionen

Fünf der acht rechts dargestellten Anwendungen führen hauptsächlich in einer Qualitäts-Kategorie (Medizin, Ökologie, Sicherheit oder Ökonomie) zu grossen Verbesserungen (++). Sie heissen deshalb **Spezial-Anwendungen**:

Sicherheit ++

Witterungs-, Notfall- und Identitätsadaption schaffen hauptsächlich mehr Sicherheit.

Ökonomie ++

Alterungs- und Ablichtadaption besitzen vor allem ökonomische Vorteile.

Die drei restlichen Anwendungen lassen sich nicht ausschliesslich einer Qualitäts-Kategorie zuordnen. Sie besitzen mehrere Hauptvorteile, sind deshalb besonders interessant und werden hiermit als **Haupt-Anwendungen** bezeichnet:

Medizin ++	Ökologie ++
------------	-------------

Bioadaption, die negative Einflüsse auf die menschliche Gesundheit und Umwelt vermindert.

Medizin ++	Ökologie ++	Sicherheit (++)	Ökonomie ++
------------	-------------	-----------------	-------------

Positionsadaption mit positiven medizinischen, ökologischen, vermutlich sicherheitstechnischen (Kap. 4.7) und ökonomischen Aspekten.

Medizin ++	Ökologie ++	Sicherheit (++)
------------	-------------	-----------------

Bio-Positionsadaption, die die Anwendung Bioadaption um den Hauptvorteil Sicherheit erweitert.

Sowohl die Spezial-Anwendungen als auch die Haupt-Anwendungen bewirken zusätzliche Nebeneffekte, die zu weiteren qualitativen Aufwertungen der Beleuchtung führen. So ergeben sich bei fünf Beurteilungskategorien für acht Adaptionen 40 Beurteilungen, von denen nur drei negativ bewertet (-/no) wurden. Demgegenüber stehen 31 positive (+) bzw. sehr positive (++) Einschätzungen!

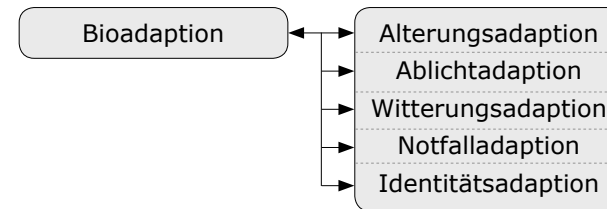
Adaption	Medizin	Ökologie	Sicherheit	Ökonomie	Fest-Werbelicht	Primär-Qualität (++)
Bioadaption	++	++	(-)	o	-	Medizin, Ökologie
Alterungsadaption	+	+	o	++	+	Ökonomie
Ablichtadaption	+	+	o	++	+	Ökonomie
Witterungsadaption	+	+	++	+	+	Sicherheit
Notfalladaption	o	o	++	+	no	Sicherheit
Positionsadaption	++	++	(++)	++	+	Medizin, Ökologie, (Sicherheit), Ökonomie
Bio-Positionsadaption	++	++	++	+	+	Medizin, Ökologie, Sicherheit
Identitätsadaption	o	o	++	+	+	Sicherheit

6.3 Adaptionismix

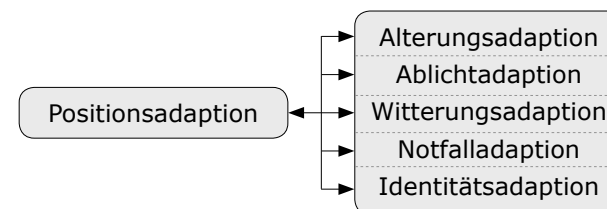
Um die positiven Effekte noch weiter zu verstärken, stellt sich die Frage nach eventuellen Kombinationsmöglichkeiten der Adaptionen. Dabei wird folgender Zusammenhang deutlich: Während sich die fünf Spezial-Anwendungen problemlos verknüpfen lassen, können die drei Haupt-Anwendungen nicht untereinander - jedoch mit den Spezial-Anwendungen - kombiniert werden (AB 48-50).

Insgesamt entsteht ein Adaptionismix, der auf die lokalen Bedürfnisse individuell einstellbar ist. In Abhängigkeit zur erforderlichen Beleuchtungssituation ergeben sich unterschiedliche Adaptionen-Kombinationen für das Sicherheitslicht bei innerstädtischen Fussgängerbereichen, Anlieger- und Sammelstrassen, Hauptverkehrsstrassen, Busbahnhöfen, Bahnanlagen, Gross-Parkplätzen, Parks und für Illuminationen des Fest- und Werbelichtes (QU 084).

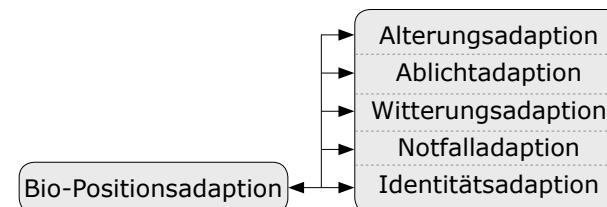
Gleichzeitig ist der Adaptionismix in Abstimmung mit den unterschiedlichen Interessensgruppen (Stadtbewohner, Umweltschützer, Passanten im Strassenverkehr und Betreiber der öffentlichen Beleuchtung) an deren Bedarf zu adaptieren. Dadurch wird ein Optimum an Stadtlicht-Qualitäten möglich, das zu nachfolgenden Vorteilen führt (Kap. 6.4-6.7).



AB 48: Bioadaption in Kombinationen



AB 49: Positionsadaption in Kombinationen



AB 50: Bio-Positionsadaption in Kombinationen

6.4 Medizinische Vorteile

Mit Hilfe zweier Massnahmen ist auf Gesundheitsbeeinträchtigungen beim Menschen durch Kunstlicht (Kap. 2.2) zu reagieren:

Reduzierung des Lichtstroms

Die erste Massnahme umfasst die Verringerung der negativen Einflüsse des Stadtlichtes auf die menschliche Gesundheit. Hierfür erlaubt der Einsatz von Positionsadaption (AB 51) bereits eine Reduzierung der emittierten Lichtmengen auf 65% (Kap. 4.7). Die restliche Beleuchtung lässt sich durch Alterungsadaption nochmals um 5% reduzieren (Kap. 4.3), womit sich mit weiteren, schwieriger zu quantifizierenden lichtreduzierenden Anwendungen (Kap. 4.4, 4.5) die Einsparungen auf über 70% erhöhen können.



AB 51: Positionsadaption

Die Beleuchtungs-Absenkung ist zeitlich so gestaltet, dass sie während der medizinisch empfindlichsten Hauptschlafenszeit ihr Maximum besitzt.

Rotfärbung

Die zweite Massnahme bestreitet mit Bioadaption bzw. Bio-Positionsadaption (AB 52) einen andersartigen Weg: Sie wirkt der vermuteten Erhöhung des Risikos für Krebs und Depressionen durch Kunstlicht direkt entgegen, indem die Beleuchtung rot gefärbt wird. Die Cryptochromen Rezeptoren (Kap. 2.2) nehmen rotes Licht nicht wahr und folglich wird die Gesundheit nicht mehr beeinträchtigt. Aufgrund ihrer Wirkungsweise ist vor allem bei dieser Massnahme mit nachhaltigen medizinischen Verbesserungen zu rechnen.



AB 52: Bio-Positionsadaption

6.5 Ökologische Vorteile

Dieselben Massnahmen, die zu den erläuterten medizinischen Vorteilen führen, vermindern auch die ökologischen Schäden durch Kunstlicht.

Rotfärbung

Rote Beleuchtung kann die Kunstlicht-Anziehung von nachtaktiven Insekten vermeiden, da diese rotes Licht meist nicht erfassen (Kap. 2.3). Deshalb resultieren aus Bioadaptation bzw. Bio-Positionsadaptation - wahlweise um Spezial-Anwendungen erweitert - wesentlich geringere Belastungen für die Ökologie und die gesamte Umwelt.

Reduzierung des Lichtstroms

Die zweite Massnahme zur Verminderung der ökologischen Defizite durch Lichtreduzierungen ist die Haupt-Anwendung Positionsadaptation wahlweise kombiniert mit den Einzel-Anwendungen Alterungsadaptation, Ablichtadaptation und Witterungsadaptation. Statt einer jährlichen Zunahme der Lichtverschmutzung um 5-10% (Kap. 2.3) führt der Adaptions-Mix zu maximalen Einsparungen des Lichtstromes um ca. 70% (Kap. 6.4). Das Ergebnis sind wesentliche Verringerungen des Insektensterbens und der ökologischen Folge-Schäden.

Durch die Lichtstrom-Reduzierung wird gleichzeitig den Forderungen der UNESCO zum Schutz des gefährdeten Sternenhimmels nachgekommen (Kap. 2.3) und dieser den Stadtbewohnern wiedergegeben.

70% weniger Lichtstrom bedeutet bei LED-Beleuchtung auch 70% weniger Energieverbrauch (Kap. 3.5). So ergeben sich unter Verwendung von AB 53 (siehe rechts) jährliche Energie-Einsparungen von ca. $0,7 \times 3.700 \text{ GWh} = 2.600 \text{ GWh}$, der durchschnittlichen Jahresproduktion eines Kohlekraftwerks oder eines halben Atomkraftwerks (QU 085).

70

Pro produzierter GWh Energie beträgt in Deutschland die CO₂-Belastung durchschnittlich 620 t (QU 086). Folglich könnte mit dem beschriebenen Adaptionsmix die CO₂-Emission pro Jahr um bis zu $2.600 \times 620 \text{ t} = 1.600.000 \text{ Tonnen}$ vermindert werden. Dieser Betrag erreicht beinahe die derzeit in Deutschland einzusparende CO₂-Menge im Rahmen des Kyoto-Protokolls (QU 087).

Ein energieeffizienter Adaptionsmix von Adaptivem Stadtlcht leistet deshalb einen wichtigen Beitrag sowohl zum Klimaschutz als auch zur Einschränkung der Lichtverschmutzung.

6.6 Verbesserungen der Sicherheit

Die Spezial-Anwendungen Witterungs-, Notfall- und Identitätsadaption sind hauptsächlich für Verbesserungen der Sicherheit zuständig.

Bei den Haupt-Anwendungen gibt es bei der Bioadaption Einschränkungen (Kap. 4.2), die jedoch durch Bio-Positionsadaption zu beheben sind. Mit Bio-Positionsadaption und Positionsadaption sind die Normen für öffentliche Beleuchtung zu gewährleisten und durch Kontrastreduzierung der Übergangsbereiche zusätzliche Verbesserungen zu erzielen. Ausserdem wird vermutet, dass ein gegenseitiges Erkennen der Beleuchtungszonen zu dem neuen Konzept „Aktive Sicherheit“ führt, das sich positiv auf die Sicherheit auswirkt (Kap. 4.7).

45% Quecksilberd.-Hochdruckl. 4,1 Mio x 125W	= 513MW
34% Natriumd.-Hochdruckl. 3,1 Mio x 100W	= 310MW
15% Leuchtstofflampen 1,3 Mio x 30W	= 39 MW
3% Kompaktleuchtstofflampen 0,3 Mio x 36W	= 11 MW
3% Halogenmetall dampflampen 0,3 Mio x 150W	= 45 MW
Gesamtverbrauch	918 MW
jährl. 4025 Dunkelstunden x 918 MW =	ca. 3.700.000 MWh

AB 53: Energie-Verbrauch der 9,1 Mio Lichtpunkte in D

6.7 Ökonomische Vorteile

Eine 70%-ige Reduzierung des Lichtstroms dämpft die direkten Kosten für Stadtlicht. Für die in Deutschland aufzubringenden Energiekosten von 0,8 Mrd. Euro (Kap. 2.5) ergibt sich eine Kostensenkung von maximal $0,7 \times 0,8 \text{ Mrd.} = 0,56$ Milliarden Euro pro Jahr.

Die wesentlich geringere Lampen-Brenndauer vermindert bei einer Lichtstrom-Reduzierung von 70% die Wartungs- und Reparaturkosten von 0,7 Mrd. Euro um geschätzte 35% um 0,24 Mrd. Euro. Insgesamt sind die Kosten durch Adaptives Stadtlicht also um $0,56 \text{ Mrd.} + 0,24 \text{ Mrd.} = 0,8$ Milliarden Euro zu senken. Ob die Einsparungen die zusätzlichen Kapitalkosten für Neu-Installationen und Umrüstungen decken, kann in dieser Untersuchungsphase allerdings nur vermutet werden. Erst durch weitere Detaillierungen und Probe-Installationen ist endgültig zu beweisen, dass die ermittelten Adaptionen erhebliche ökonomische Vorteile umfassen.

Überhaupt nicht berücksichtigt wurden indirekte Kosten-Dämpfungen, die durch medizinische, ökologische und sicherheitstechnische Verbesserungen entstehen: eine Erhöhung der Volksgesundheit und des Klimaschutzes sowie eine Reduzierung der Unfallzahlen.

6.8 Gesundes, reduziertes, sicheres, preiswertes Licht

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der individuell einstellbare Adaptionsmix nachhaltig die menschliche Gesundheit durch Lichtstrom-Reduzierung oder durch Rotfärbung der Beleuchtung verbessert. Dieselben Massnahmen bewirken gravierende Vorteile für die Umwelt und den Klimaschutz.

Bei einer geeigneten Wahl der Adaptionen ist zusätzlich mit einer Steigerung der Sicherheit zu rechnen. Ausserdem werden vermutlich die durch Stadtlicht verursachten direkten und indirekten Kosten massgeblich gesenkt.

Adaptives Stadtlicht deckt unbedingt den Bedarf an neuen Beleuchtungslösungen von Bewohnern, Umwelt, Passanten und Betreibern. Es erfüllt die Forderungen nach gesundem, reduzierten und vermutlich auch nach preiswertem, sicherem Licht (Kap. 2.6). Das Resultat ist somit eindeutig: Adaptives Stadtlicht empfiehlt sich als Stadtlicht der Zukunft.

Doch wie wirkt sich Adaptives Stadtlicht auf die nächtliche Stadtgestalt aus? Erst wenn seine Auswirkungen in dem folgenden Kapiteln einzuschätzen sind, ist eine endgültige Beurteilung möglich.

7 ■ Die Auswirkungen auf die Stadtlichtgestalt

7.1 Vorbemerkung

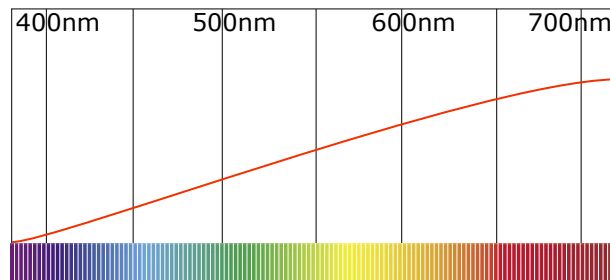
Die Spezial-Anwendungen Alterungs-, Ablicht-, Witterungs-, Notfall- und Identitätsadaption besitzen also ein beträchtliches Verbesserungs-Potential für das Stadtlicht. Doch ihre Erscheinungsform wird sich dem nächtlichen Gesamteindruck einer Stadt unterordnen.

Anders verhält es sich mit Bio- und Positionsadaption (für Bio-Positionsadaption können die Auswirkungen von Bio- und Positionsadaption kombiniert werden): Diese Haupt-Anwendungen besitzen beträchtlichen Einfluss auf die Gestaltung des Stadtlichtes, der anhand von vier Tendenzen der aktuellen Stadtbeleuchtung eingeordnet und bewertet wird.

7.2 Tendenz 01: Wechsel der Lichtfarbe

Ob Glühlampe, Leuchtstoff- und Natriumdampf-Hochdrucklampe oder zukünftig LED-Beleuchtung - jedes Leuchtmittel besitzt ein spezifisches Farbspektrum mit einer eigenen Lichtfarbe. Aus diesem Grund führte im Laufe der Geschichte ein technologiebedingter Wechsel der Leuchtmittel immer wieder zu einer veränderten Farb-Erscheinung der nächtlichen Stadt.

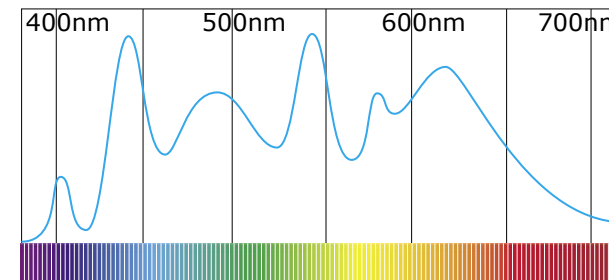
Der öffentliche Raum zeigte sich anfänglich in einem „warmen“ Farbton, da Öllampen und Glühlicht einen Grossteil ihrer elektromagnetischen Wellen im roten Spektralbereich ausstrahlen (AB 54). Mit der Einführung der Leuchtstofflampen veränderte sich die Lichtfarbe in kaltweisses, blau- bis orangespektrales Licht (AB 55). Aktuell wird aus ökonomischen



AB 54: Spektrum einer Glühlampe

Gründen auf Natriumdampf-Hochdrucklampen umgestellt, die den Stadtraum mit ihrer gelblichen Lichtfarbe beleuchten (AB 56).

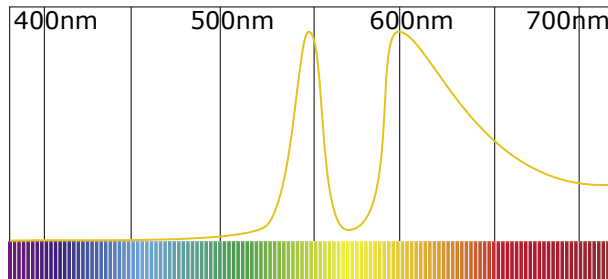
Die Auswirkungen von Bioadaptivem Stadtlicht lassen sich in diese Folge einreihen, denn dieses würde einen nächsten Wandel der Lichtfarbe von gelb zu rot ergeben (AB 57). Beim Vergleich der aktuell gelb gefärbten Stadträume mit einer Rotfärbung durch Bioadaptation könnte letztere allerdings besser abschneiden, denn aufgrund der Konnotation an abendliches Naturlicht besitzt rotes gegenüber gelbem Stadtlicht einen entspannenden Effekt beim Menschen (QU 088). Beide Lichtfarben können allerdings schnell die „Ausstrahlung eines Werbe- oder Dekorationsmittels“ besitzen (QU 089).



AB 55: Spektrum einer Leuchtstofflampe

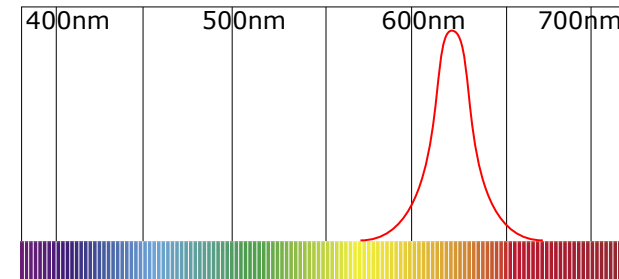
Wenn aus gestalterischer Sicht rote wie gelbe (AB 58-59 nächste Seite) Beleuchtung im Gegensatz zu weissem Licht eine klare Einschränkung bildet, verbietet sich dann automatisch die Anwendung von Bioadaptation? Betrachtet man die enormen medizinisch-ökologischen Vorteile von Bioadaptivem Stadtlicht, sind die gestalterischen Einschränkungen bezüglich Lichtfarbe und Farbwiedergabe meiner Meinung nach zu akzeptieren.

- 75 Beim Einsatz von bioadaptiver LED-Beleuchtung muss wie bei der Verwendung von Natriumdampf-Hochdrucklampen allerdings immer geprüft werden, inwieweit ihre gestalterische Einschränkungen Anwendungen z. B. in Fussgängerzonen oder im Fest- und Werbelichtbereich ausschliessen.



AB 56: Spektrum einer Natriumdampf-Hochdrucklampe

Demgegenüber bietet Positionsadaptives Stadtlicht den eindeutigen Vorteil, dass eine Rückkehr zu weisser Beleuchtung möglich wird. Zusätzlich ist sogar das erste Mal in der Lichtgeschichte der gewünschte Weissston durch LED-Farbmischung genau einzustellen und auf die Umgebung abzustimmen. Deshalb wird sich Positionsadaption positiv auf die Stadtlichtgestalt auswirken (AB 60 nächste Seite).



AB 57: Spektrum einer roten LED



AB 58: Lichtfarbe von Natriumdampf-Hochdrucklampen

77



AB 59: Lichtfarbe von Bioadaptivem Stadtlicht



AB 60: Lichtfarbe von Positionsadaptivem Stadtlicht

7.3 Tendenz 02: Licht-Masterplan

Neben der Lichtfarbe hat sich im Laufe der Lichtgeschichte das Verhältnis zwischen Sicherheitslicht und Fest- / Werbe-licht stetig gewandelt. So führte die Entwicklung von einem Übergewicht des Sicherheitslichtes der Nachkriegszeit zu einer stärkeren Betonung des Fest- und Werbelichtes (trotz seines immer noch geringen Anteils), von einer eher sachlichen, verkehrsorientierten Anwendung hin zu einer Beleuchtung, die stärker das urbane Ambiente betont (QU 090).

Aktuelles Stadtlicht wird auf Emotionen ansprechend und auf Architektur ausgerichtet gestaltet. Das Ziel ist die Schaffung eines unverwechselbaren Stadtbildes mit einer einzigartigen Atmosphäre. Die nächtlichen Szenen prägen sich bei Einwohnern und Besuchern ein und erzeugen Beziehungen, die zur kulturellen Identität eines Ortes führen sollen (QU 091).

Diese Identität eines Ortes entwickelt sich meist aus Illuminationen von Gebäuden und Parks. Die gleichen Elemente wie am Tag prägen dabei das nächtliche Bild und verwandeln nächtliche Orte zu Wahrnehmungs- und Erlebnissräumen - entweder durch pure Beleuchtung oder durch Verfremdungen mit Farbe, Lichtdynamik und Struktur.

Zusätzlich entstehen zur Zeit Gebäudefassaden, die sich per Videoprojektion zu nächtlichen Lichtspiel-Architekturen entwickeln oder deren Grossbildschirme sich vom Gebäude isolieren und zu stadtlichtprägenden Informations- oder Installationsflächen werden (z. B. von Gebrüder Edler am Potsdamer Platz), doch das Alltagsgeschäft der Beleuchtungsplaner besteht zumeist in einfacheren Anstrahlungen.

„Stadtverschönerung“ oder „Beautification“ (QU 092) durch Illuminationen kann einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, dass Städte auch noch in den natürlichen Dämmerungsphasen und bei Nacht anziehend und einladend bleiben. Stadtverschönerung hat die Aufgabe, eine weitere Abwanderung der Kaufkraftströme ins Umland zu stoppen bzw. rückgängig zu machen (QU 093). Mittels Beautification wird für Kino-, Theater-, Café- und Restaurantbesucher die städtische Vergnügungsszene angekurbelt. Zusätzlich wird die Attraktivität von Innenstädten für Einkaufswillige erhöht und durch die Aufhebung der Ladensöffnungszeiten verlängert (QU 094).

78

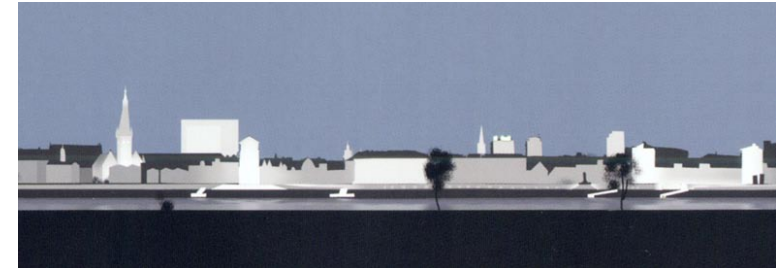
Illuminations-Initiatoren bewegen sich deshalb sowohl auf der Ebene des Stadtmarketings als auch auf privater Ebene. Sie agieren jedoch oftmals lokal mit Einzelmassnahmen aus Marketinginteressen heraus, sodass die nächtliche Identität des Ortes unberücksichtigt bleibt.



AB 61: Ist-Zustand der Hafenansicht Düsseldorf

79 So wird zur Verschönerung von Städten beautifiziert, ohne in übergeordneter Weise auf das Stadtbild und auf die individuelle Atmosphäre einer Stadt zu achten. Häufig gilt das Recht des Stärkeren bzw. des Hellenen. Es bilden sich sowohl interne Konkurrenzsituationen des auf Herausstellung beruhenden Fest- und Werbelichtes als auch externe Wettstreite mit dem Sicherheitslicht, das aus Sicherheitsgründen Differenzierungen der Beleuchtung eher negiert.

Deshalb ergreift man seit einigen Jahren koordinierende Massnahmen (AB 61-62). In interdisziplinären Teams setzen sich Lichtplaner, Architekten und Stadtplaner sowie Fachämter der Stadtverwaltung für eine übergeordnete Licht-Gestaltung ein, bei der Themen wie Stadtmarketing, Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltschutz berücksichtigt werden.



AB 62: Soll-Zustand der Hafenansicht Düsseldorf

Wie für die Gestaltung der Tag-Städte mittels Bebauungsplänen und Gestaltungsrichtlinien werden für die nächtlichen Städte ähnliche Koordinierungs- und Kontrollinstrumente entwickelt, so genannte Licht-Masterpläne. Für deren Erstellung gibt es zwar noch keine allgemeingültigen Regeln, jedoch Leitthemen, die sich oftmals wiederfinden. Mit ihnen soll eine Optimierung der Beleuchtung hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Umweltschutz aber hauptsächlich hinsichtlich der Gestaltung erzielt werden.

Anhand der Stadtlicht-Planung für Düsseldorf, vom Atelier Prof. N. Fritschi federführend bearbeitet, wird ein Licht-Masterplan beispielhaft kurz erläutert (QU 095).

Fortsetzung 7.3 Tendenz 02: Licht-Masterplan

Nach einer Analyse des aktuellen Lichtbestandes und spezifischer städtebaulicher Situationen wählten die Verfasser des Licht-Masterplans Düsseldorf u. a. drei Leitthemen. Diese Leitthemen setzen Räume und Orte fest, bei denen der gestalterische und funktionale Umgang mit Licht notwendig und zweckmässig erscheint.

1. Leitthema: Stadträume und Plätze (AB 63)

Abgestimmt auf den jeweiligen Charakter der innerstädtischen Plätze ist ihre Individualität durch den gezielten Einsatz von Licht herauszuarbeiten und zu stärken. Gleichzeitig ist die Vernetzung der Plätze untereinander ein wesentliches Ziel der Masterplanung (QU 096).

2. Leitthema: Licht-Inszenierungen (AB 64)

Als Auswahlkriterien der zu beleuchtenden Gebäude innerhalb eines Stadtgefüges bieten sich historische und architektonische Aspekte sowie eine herausragende stadträumliche Lage an. In dem Düsseldorfer Stadtgrundriss sind Gebäude mit Solitärcharakter blau, Bauwerke mit besonderen Sichtbeziehungen gelb und bauliche Ensembles rot gekennzeichnet (QU 097).



AB 63: 1. Leitthema: Stadträume und Plätze

AB 64: 2. Leitthema: Licht-Inszenierungen

AB 65: 3. Leitthema: Das Strassennetz

3. Leitthema: Das Strassennetz (AB 65)

Die Gliederung des Strassennetzes ergibt vier Kategorien: Hauptverkehrsstrassen, Einkaufs- und Geschäftsstrassen, Quartiers- und Wohnstrassen sowie Fusswegeverbindungen. Jede Kategorie zeichnet sich durch eine spezifische Lichtfarbe und einen charakteristischen Leuchtentyp aus, wobei sich in den Übergangsbereichen prägnante Kontraste ergeben (QU 098).

81 Wie die drei beispielhaften Leitthemen zeigen, werden Regeln über eine ortspezifische Verwendung von Leuchten aufgestellt, die zu erzielende nächtliche Identitäten von Orten vorgegeben. Ein Licht-Masterplan beinhaltet Aussagen über die Lage der Orte, seien es Stadträume, Gebäude oder Strassen. Zusätzlich definiert er die Art und Weise der Beleuchtung: Illuminationen mit Fest- und Werbelicht oder präzise Beschreibungen der unterschiedlichen Arten des Sicherheitslichtes.

Inwiefern lässt sich Adaptives Stadtlicht in einen Masterplan einbetten?

Aufgrund der Festlegungen über das „Wo“ und das „Wie“ kann auch der Einsatz spezifischer Adaptionen geregelt und in einen Masterplan eingebunden werden. So lässt sich durch Eintragungen in den Licht-Masterplan beispielsweise festle-

gen, welches Quartier mit Bioadaptivem Stadtlicht beleuchtet wird und welche Faktoren in die Positionsadaption bestimmter Strassenklassen einfließen.

Zusätzlich können Angaben über den Anwendungszeitraum bestimmter adaptiver Stadtlichtarten - über das „Wann“ - eingefügt werden, wie z. B. Bioadaptives Stadtlicht färbt sich von 22.00 Uhr - 6.00 Uhr im Quartier Unterbilk rot u.s.w..

Es lässt sich also festhalten, dass sich die Anwendungen von Adaptivem Stadtlicht mittels Masterpläne in die Gestaltungsvorstellungen von Städten einbinden lassen. Die Adaptionen können als zusätzliches Werkzeug die zukünftige nächtliche Stadtgestalt unterstützen und weiterentwickeln.

Gleichzeitig scheinen Masterpläne aber auch eine vielversprechende Planungsgrundlage zu sein, um Adaptives Stadtlicht zu steuern. Mit ihnen ist eine Möglichkeit gefunden, um die unterschiedlichen Funktionsweisen von Adaptivem Stadtlicht individuell auf eine Stadt zu übertragen.

7.4 Tendenz 03: Verdunkelung

Dass die Wirkung eines beleuchteten Objektes in Abhängigkeit zu seiner Umgebungshelligkeit steht, ist eine elementare Erkenntnis. Bereits Illuminationen des Barock führten eine Hell-Dunkel-Dramatik herbei, die die Nacht keineswegs annullierte, sondern im Gegenteil, ihre Realität illuminierte und glorifizierte. Im Barock-Theater entstand diese Tendenz durch zwei „Erfindungen“:

- Erstens die Differenzierung von Zuschauer- und Bühnenraum in einen Dunkel- und einen Hellraum.
- Zweitens die Hell-Dunkel-Differenzierung des Bühnenraumes selbst (QU 099).

Auf die heutige Stadtgestaltung übertragen, sollten deshalb Licht-Masterpläne die Nacht nicht aus- sondern einschalten: Vergleichbar mit der im Theater bis heute praktizierten Aufteilung in Zuschauerraum und Bühnenraum müssen nicht nur Orte des Lichtes sondern auch Orte bestimmter Dunkelheiten definiert werden. Unter Einbeziehung der Erkenntnisse der Bühnenraum-Beleuchtung können zusätzliche „Nachtformen“ mittels Hell-Dunkel-Differenzierungen geschaffen werden. Die Arbeit des Lichtplaners besteht dann in der Gestaltung unterschiedlicher Dunkelheiten. Er entwickelt sich vom Licht- zum Nachtplaner.

Der Architekt Peter Zumthor beschreibt das Streben nach mehr Nächtlichkeit mit den Worten: „Zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang richten wir uns ein mit den Lichtern, die wir selber herstellen und anzünden. (...) Wenn ich diese Lichter, die wir uns selber machen, nicht als Anstrengung zur Aufhebung der Nacht begreife, sondern sie als Lichter in der Nacht, als Akzentuierung der Nacht, als intime, vom Menschen geschaffene Orte des Lichtes in der Dunkelheit zu denken versuche, dann werden sie schön, dann können sie ihren eigenen Zauber entfalten“ (QU 100).

Weshalb existiert dann überhaupt noch der Licht-Fanatismus in den Städten, der gar nicht die Lichter sieht, die es gibt?

82

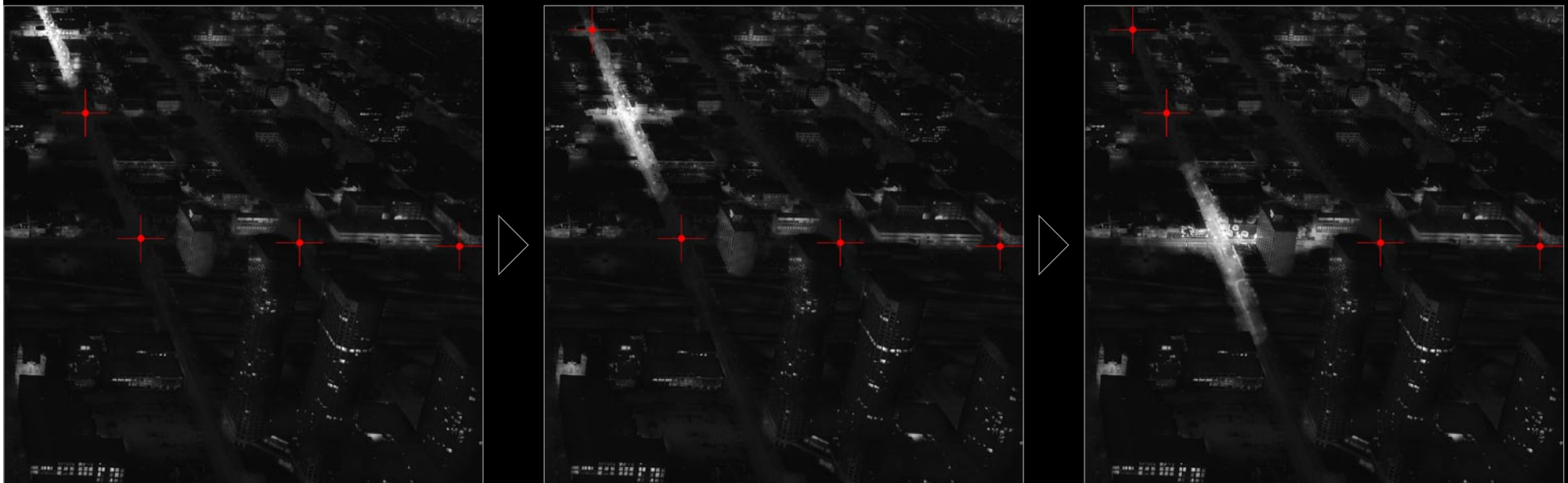
Für den Nachtplaner erscheint diese Frage ebenso essentiell wie für Mediziner, Ökologen und Ökonomen (Kap. 2). Aber auch die Stadtbewohner sind keine Licht-Fanatiker, obwohl die Nacht teilweise noch negativ determiniert ist: Einer Emnid-Umfrage aus dem Jahr 2002 zufolge sind 84 Prozent der Bevölkerung Deutschlands der Überzeugung, dass nachts viel weniger Licht brennen sollte (QU 101).

Dass die Stadtlicht-Realität in einem diametralen Verhältnis zu diesen Meinungen steht, hat mehrere Gründe. Den Hauptanteil an der heutigen Lichtflut besitzt das Sicherheitslicht, das immer noch die Aufgabe besitzt, die Nacht aufzuheben

oder wenigstens zu „entschärfen“ (Kap. 2.4). Fortschritte der Leuchtentechnik führten ungebremsst zu immer grösseren Beleuchtungsstärken. Das allgemeine Beleuchtungsniveau ist inzwischen dermassen hoch, dass das Fest- und Werbelicht seine Herausstellung nur durch sehr hohe Beleuchtungsstärken erreichen kann und dessen weitere Ausbreitung zu noch grösserer Lichtflut führt. Eine Hell-Dunkel-Dramatik verschob sich deshalb vielerorts zu einer weit weniger wirksamen Hell-Heller-Dramatik.

83 Dieser Konflikt ist durch eine Reduzierung des allgemeinen Beleuchtungsniveaus zu lösen und würde dann zu stadtgestalterisch effektvolleren Inszenierungen führen. Die erste Massnahme aus dem Teufelskreis der Lichtflut entsteht durch die Möglichkeit der Dimmbarkeit von LED-Beleuchtung.

Als zweite Massnahme bietet sich vorwiegend Positionsadaptives Stadtlicht an: Mit dieser Anwendung wird Sicherheitslicht vorwiegend an Stellen verwendet, an denen dieses Licht aus Sicherheitsgründen benötigt wird. Das restliche Beleuchtungsniveau kann erheblich gesenkt und eine Hell-Dunkel-Dramatik des Stadtlichtes gesteigert werden. Positionsadaptives Stadtlicht führt deshalb zu einem grossen Gestaltungs-Potential (AB 66 nächste Seite).



AB 66: Verdunkelung mit Positionsadaptivem Stadtlicht



7.5 Tendenz 04: Dynamisches Licht

Genauso wie die Bemühungen der letzten Jahrhunderte nach immer grösseren Beleuchtungsstärken durch Adaptives Stadtlicht gestoppt werden könnten, wird abschliessend untersucht, inwiefern eine weitere Errungenschaft der Lichtgeschichte an aktuelle Bedürfnisse anzupassen ist:

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts hängt das damals neue Elektrolicht nicht mehr von einer Flamme ab, die jedem Luftzug ausgesetzt ist, sondern brennt stabil in seinem eigenen Raum (QU 102). Diese Stabilität des Lichtes würde durch die Anpassungsprozesse von Adaptivem Stadtlicht, durch Beleuchtungs-Modulationen bzw. durch dynamisches Licht, aufgehoben. Dass eine Aufhebung der Lichtstabilität nicht ein Schritt in der Lichtgeschichte zurück - vor den Einsatz des Elektrolichtes - bedeutet, sondern einen fortschrittlichen Stand der Lichtgestaltung darstellt, soll anhand der nachfolgenden Beispiele erörtert werden.

Beispiel 1: Dynamic Lighting

In Innenräumen verändert Dynamic Lighting der Firma Philips ständig die Licht-Situationen nach dem Vorbild der Natur: dem Wechsel von Tages-, Jahreszeiten und Wetter. Dynamisches Licht bringt den natürlichen Charakter des Lichtes

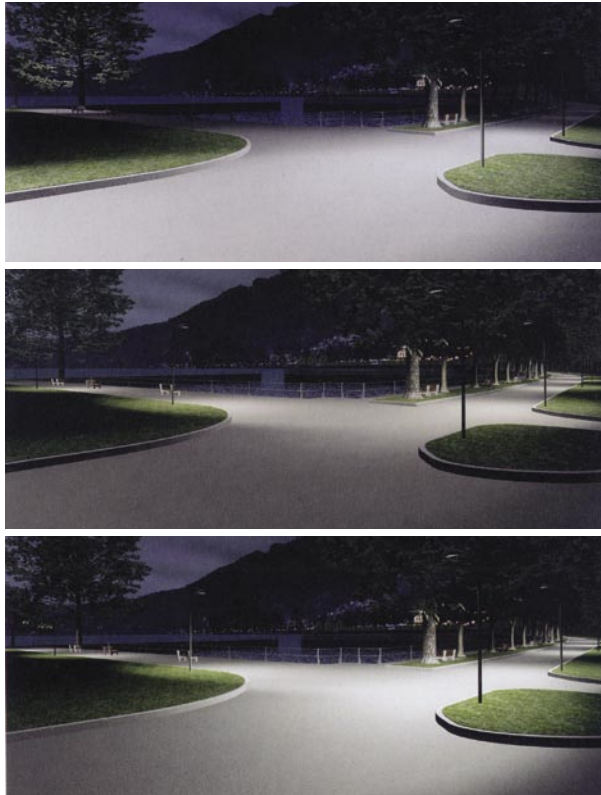
mit seinen stufenlosen Veränderungen der Lichtfarbe an den Arbeitsplatz (Naturlicht wechselt seine Lichtfarbe über den Tag von blau zu rot). Zwei dynamische Licht-Konzepte wurden dafür entwickelt: „Personal Light“ erlaubt den Mitarbeitern eine individuelle Anpassung des Lichtes zur Steigerung des Wohlbefindens und „Dynamic Ambience“ verändert das Licht automatisch und nach vorprogrammiertem Rhythmus (QU 103).

Beispiel 2: Symphonikerplatz Bregenz von Zumtobel

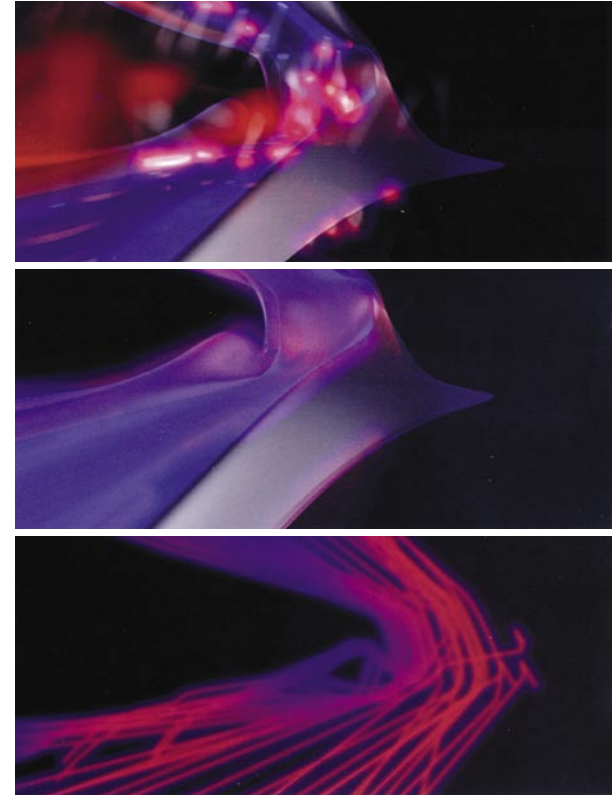
Die Steuerung der Beleuchtungsanlage ist so programmiert, dass sich die Beleuchtung im Park beständig, aber aufgrund der Langsamkeit des Wechsels kaum wahrnehmbar, verändert. Denn „langsam wechselnde Lichtstimmungen und Verläufe in der Lichtverteilung werden als angenehmer und anregender empfunden als gleich bleibende Helligkeit, die bisher in den Bregenzer Seeanlagen bestand“ (QU 104).

86

Je nach Programmablauf leuchtet eine unterschiedliche Anzahl von Leuchten in verschiedenen Helligkeiten (AB 67-69). Eine ausreichende Beleuchtungsstärke gewährleistet die Sicherheit der Spaziergänger. Zudem unterstützt die verbesserte Beleuchtung der unmittelbaren Umgebung das subjektive Sicherheitsempfinden der Passanten.



AB 67-69: Symphonikerplatz Bregenz von Zumtobel



AB 70-72: „Lichterschwarm“ von Zaha Hadid

Fortsetzung 7.5 Tendenz 04: Dynamisches Licht

Beispiel 3: „Lichterschwarm“ von Zaha Hadid

Das Konzept beruht auf der Idee eines geschwungenen LED-Pfades in einer durchscheinenden Ummantelung, der wechselnde urbane Schauplätze kreiert und so einen Platz und seine Umgebung mit Leben erfüllt (AB 70-72). Das Licht reagiert auf verschiedene Parameter: Die Bewegung der Menschen, die „Dichte des jeweiligen Raumes“ (Zitat Zaha Hadid) und die Geschwindigkeit der Menschen, die sich in diesem Raum befinden.

Die Farbveränderungen reflektieren die fließenden Formen der Architektur, wodurch ein Raum aus „reinem Licht“ entstehen soll. Indem sie ständig aufeinander reagieren, „verschmelzen Menschen, Architektur und Licht zu einer neuen Einheit“ (QU 105).

Der „Lichterschwarm“ von Zaha Hadid ist ein Experiment mit dem Anspruch eines neuen räumlichen Konzeptes, das die „existierenden städtischen Umfeldler intensivieren und ständig neue Grenzen im Bereich der Architektur und des Städtebaus setzen“ soll (QU 106).

Die Beispiele zeigen auf, dass dynamisches Licht aus unterschiedlichen Motiven heraus eingesetzt wird. Da es sich für eine Steigerung der Arbeitseffektivität, für eine „angenehmere und anregendere“ Atmosphäre sowie für eine Intensivierung der Stadtwahrnehmung eignet, spricht prinzipiell alles für einen Einsatz von dynamischem Licht bei Adaptivem Stadtlicht.

Im ersten Beispiel steht die biologische Komponente im Vordergrund, die sich durch einen Wechsel der Lichtfarbe von blau-weißem zu rot-weißem, also von kaltem zu warmem Licht manifestiert. Diese Dynamik ist vergleichbar mit Bioadaptivem Stadtlicht, bei dem sich die Lichtfarbe zwischen weiß und rot bewegt.

88

Im zweiten Beispiel wird aus gestalterischen Gründen die Lichtintensität verändert. Eine ähnliche Anwendung ergibt sich bei Positionsadaptivem Stadtlicht durch eine Modulation der Helligkeit bei Passantenbewegungen. Im Gegensatz zu programmierten Lichtänderungen sind die Passanten selbst die Auslöser. Die Logik der Lichtwechsel ist für sie besser nachzuvollziehen, weshalb von keiner Irritation durch die Lichtdynamik ausgegangen wird.

Bei Bioadaptivem und Positionsadaptivem Stadtlicht wird eine optimale Einstellung der Modulationsgeschwindigkeit wesent-

lich zur Vermeidung von Störungen durch die Lichtdynamik beitragen. Bioadaptives Stadtlicht kann seine Lichtfarbe über Minuten unmerklich verändern genauso wie das Ein- und Ausschalten aller Leuchten abends und morgens durch eine sehr langsame Steigerung bzw. Senkung der Lichtintensität erfolgen kann.

89 Bei Positionsadaptivem Stadtlicht kommen für die Einstellung der Modulationsgeschwindigkeit noch weitere Faktoren hinzu: Die Helligkeitsdifferenz zwischen Beleuchtungszone und Umgebungshelligkeit, die maximale Passantengeschwindigkeit und die Grösse der Übergangszone (Kap. 4.7). Während es sich bei den erstgenannten Faktoren um feste Grössen handelt, lässt sich mit dem letztgenannten Faktor die Modulationsgeschwindigkeit optimieren.

Für Bioadaptives und Positionsadaptives Stadtlicht sind somit bestmögliche Anpassungen der Lichtfarbe und der Lichtintensität zu erreichen. Visuelle Störungen durch eine zu grosse Lichtdynamik lassen sich somit ausschliessen.

Es ergibt sich ein Lichtumfeld, das unterschiedliche Licht-Verhältnisse erzeugt - vergleichbar mit dem Wechsel der natürlichen Lichtfarben und der Lichtintensitäten tagsüber z. B. durch Wolken an einem Sonnentag. Oder auch ähnlich zu

Helligkeitsverschiebungen während der Dämmerungsphasen oder dem Flackern einer Flamme. An die Lichtdynamiken adaptiert sich das Auge mit positiven Auswirkungen auf das menschliche Wohlbefinden inklusive Steigerungen der Neuro-nen-Aktivität und des Reaktionsvermögens (QU 107).

Im dritten Beispiel, Zaha Hadids „Lichterschwarm“, klingt eine weitreichende Änderung des Beleuchtungsprinzips an, das durch die Veränderungen von Lichtintensität und Lichtfarbe von Adaptivem Stadtlicht ermöglicht wird. Zusätzlich zu dem „Top-down-Prinzip“, einer präzise formulierten Vorgabe mittels Lichtmasterplan, tritt Adaptives Stadtlicht in eine Wechselwirkung mit dem Menschen. Als „Bottom-up-Prinzip“ bezeichnet, bestimmen Passanten und Umweltbedingungen eine ständige Modifikation der Stadtlichtgestalt (QU 108).

Die Erscheinung der nächtlichen Stadt charakterisiert sich dadurch nicht mehr als abgeschlossene Erscheinung. Adaptive Anwendungen geben ein Feld von Möglichkeiten vor, die zu ständig neuen Ergebnissen und Erlebnissen im nächtlichen Stadtraum führen.

7.6 Zusammenfassung

Die Vermutung, dass sowohl Bioadaption als auch Positions-adaption einen beträchtlichen Einfluss auf die Gestaltung des Stadtlichtes hat, bestätigte sich. Beide Adaptionen setzen - teilweise in grossem Umfang - positiv aktuelle Tendenzen um und können deshalb ein zusätzliches Gestaltungspotential für das Stadtlicht der Zukunft bilden.

Für die Lichtfarbe der öffentlichen Beleuchtung bedeutet dies im Gegensatz zu der heutzutage angewandten Gelbfärbung eine wahrscheinlich etwas positiver konnotierte Rotfärbung. Alternativ dazu ergibt sich die Chance zu einem gestalterisch optimal zu bewertenden weissen Positionsadaptivem Stadtlicht.

Als Grundlage der Adaptionen-Steuerung können Licht-Mas-terpläne dienen, die seit einigen Jahren eingeführt werden: Ort, Zeit und Art der Adaption lassen sich in die individuellen Gestaltungsvorstellungen der Städte einbinden und könnten diese weiterentwickeln. So besteht auch die Möglichkeit zur Senkung des allgemeinen Beleuchtungsniveaus mit erheblichen inszenatorischen Qualitäten infolge der Erhöhung von Hell-Dunkel-Kontrasten.

Schliesslich resultiert aus den Modulationen der Lichtfarbe und -intensität ein Stadtlicht, das unterschiedliche, sich verändernde Licht-Verhältnisse erzeugt. Dabei wird Adaptives Stadtlicht nicht nur mit Hilfe eines Licht-Masterplans von aussen gesteuert sondern modifiziert sich durch seine Wechselwirkung mit Passanten und Umweltbedingungen.

Mit dem Einsatz von Adaptivem Stadtlicht dürften wir uns auch von der Vorstellung verabschieden, dass die künstliche Beleuchtung über eine Stadt „hereinbricht“ (Kap. 1.1). Unterschiedliche Dunkelheiten würden wie in den verschiedenen Dämmerungsphasen einen bedarfsgerechten Wechsel der Beleuchtung hervorrufen. Die künstliche Nacht würde sich in 90 die natürlichen Lichtverhältnisse einbetten.

8 ■ Das Resultat

8.1 Ein wachsender Bedarf (Kap. 2)

In seinem Eröffnungsvortrag zur Ausstellung Licht und Arbeit beklagte Gerhard Auer bereits 1998 die „Negation der Nacht“ und die „energetische Völlerei“ als „Torheiten der Lichttechnik“. Seine Forderungen waren: die „Rehabilitierung der Nacht“ und eine „neue Energievernunft“ (QU 109).

Was damals noch zur „Erregung produktiven öffentlichen Ärgernisses“ (Zitat Auer) taugte, ist heutzutage unter Schlagworten wie Lichtverschmutzung, CO₂-Reduzierung und Energie-Einsparung in das allgemeine Bewusstsein eingebrannt.

Für das Stadtlicht resultieren daraus Forderungen nach Reduzierungen seiner ökologischen und ökonomischen Defizite. Bislang gibt es dafür allerdings keine zufriedenstellenden Beleuchtungs-Lösungen. Diese müssten zusätzlich die wachsenden Ansprüche an die nächtliche Sicherheit und neue wissenschaftliche Erkenntnisse über medizinische Schäden berücksichtigen. Denn der Verdacht erhärtet sich, dass Kunstlicht das menschliche Krebs- und Depressionsrisiko steigert.

8.2 Neue Techniken (Kap. 3)

Zur Verminderung dieser Defizite und zur Deckung des Bedarfs an neuen Beleuchtungs-Lösungen bietet sich eine neue Lampentechnik an: Was zu Beginn der Untersuchung „Adaptives Stadtlicht“ nur zu vermuten war, bestätigte sich durch die Markteinführung von Hochleistungs-LEDs im Jahr 2006. Ihre hohe Effizienz und lange Lebensdauer wird zu einer Erneuerung des Stadtlichtes mittels LED-Beleuchtung führen.

Gleichzeitig besitzt LED-Beleuchtung das Potential zur Adaption, da Lichtintensität und Lichtfarbe von LEDs stufenlos zu steuern sind. Erstmals ergibt sich die Chance zu einer Anpassung des Stadtlichtes an Umweltbedingungen und Passanten.

Für die Erfassung der Umweltbedingung eignen sich miniaturisierte Sensoren, die Daten ermitteln und diese über drahtlose Sensor-Netzwerke weiterreichen.

Für die Ortung von Passanten bzw. der von ihnen mitgeführten RFID-Chips oder Mobiltelefone stehen moderne Lokalisierungs-Methoden zur Verfügung, deren Auswahl bedarfsgerecht erfolgen kann. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit einer Integration zukünftiger Ortungstechniken und externer Positionsdaten z. B. aus der Verkehrssteuerung.

8.3 Der Lösungsweg (Kap. 4, 5)

Die neuen LED- und Detektions-Techniken bilden die Grundlage für Adaptives Stadtlicht: Daten werden mit Komponenten zur Witterungs- und Positionsdetektion gewonnen und an die Komponenten zur LED-Steuerung weitergeleitet, die daraufhin die Helligkeit und Lichtfarbe verändern.

In Abhängigkeit zu den jeweiligen Beleuchtungs-Anforderungen erfolgt die Beeinflussung teilweise direkt über leuchtenintegrierte Sensoren, teilweise indirekt über Funk-Kommunikation der Leuchten untereinander bzw. mit Sensor-Netzwerken sowie über eine Überwachungs-Zentrale.

92

Der variable System-Aufbau ermöglicht eine theoretische Vielfalt an Beleuchtungs-Methoden, die in einer Versuchsreihe durch die Kombination der Witterungs- und Positionsermittlungs-Komponenten mit den Komponenten zur Steuerung der Lichtintensität und Lichtfarbe formuliert wurden.

Mittels Bewertung der medizinischen, ökologischen, sicherheitstechnischen oder ökonomischen Qualitäten konnten als Lösungsziel Aussagen über Zweck und Umfang der Komponentenpaare getroffen werden, wodurch ihre Auswahl erfolgte.

8.4 Die Beleuchtungs-Lösungen (Kap. 6)

Die Paarbildung der Komponenten und die nachfolgende Prüfung der Ergebnisse hinsichtlich ihrer Vorteile führte zu acht Anwendungen für Adaptives Stadtlicht - zu acht Adaptionen.

Drei Adaptionen unterstützen die persönliche Sicherheit und die Verkehrssicherheit:

Witterungsadaption passt die Lichtintensität von Leuchten an wechselnde Sichtweiten und Leuchtdichten infolge von Regen, Schnee und Nebel an.

- 93 **Notfalladaption** signalisiert mit temporären Helligkeits- oder Farbwechseln erhöhtes Gefahrenrisiko beispielsweise durch Rettungsfahrzeuge oder Baustellen.

Identitätsadaption verbessert die Wahrnehmung besonders gefährdeter Personen durch helleres oder farbiges Licht und erlaubt individuelle Illuminationen (z. B. für Stadt-Touristen).

Besonders der Ökonomie förderlich sind zwei Adaptionen:

Alterungsadaption gleicht altersbedingte Lichtstrom-Reduzierungen schrittweise aus und spart dadurch 5% Energie ein.

Ablichtadaption berücksichtigt die Umgebungshelligkeit und bewirkt Verringerungen der Lichtintensität in helleren Zonen (z. B. der Innenstädte).

Die sechste Adaption reduziert zugleich die ökologischen, ökonomischen, sicherheitstechnischen und medizinischen Defizite der aktuellen Stadtbeleuchtung. Sie bildet deshalb eine substanzielle Verbesserung für das Stadtlicht:

Positionsadaption beleuchtet die direkte Passanten-Umgebung. Passanten werden detektiert und ihre Position an die Leuchten weitergeleitet, sodass an Stellen ohne Beleuchtungsbedarf die Helligkeit erheblich gesenkt werden kann. Beim Unterschreiten eines bestimmten Verkehrsaufkommens z. B. zwischen 22.00 und 6.00 Uhr bewirkt Positionsadaption Energieeinsparungen bis zu 65%, die sich durch Einbindung der zuvor erläuterten Alterungs- und Ablichtadaptionen auf ca. 70% bzw. 2.600 GWh erhöhen können (= Leistung eines Kohlekraftwerks).

Das Ende der „energetischen Völlerei“ führt in Abhängigkeit zur Höhe der zusätzlichen Kapitalkosten zu finanziellen Entlastungen von bis zu 800 Millionen Euro in Deutschland und zu ökologischen Entlastungen durch eine Reduzierung der CO₂-Emissionen von 1,6 Millionen Tonnen (= ungefähr die jährlich einzusparende CO₂-Menge im Rahmen des Kyoto-Protokolls).

Gleichzeitig wird sich die Sicherheit in Aussenräumen erhöhen, da Positionsadaption die gesamte Passanten-Umgebung hervorhebt und deshalb Verkehrsteilnehmer aktiv signalisiert.

Korrespondierend zur „Negation der Nacht“ wird sich auch die „energetische Völlerei“ um bis zu 70% senken, da bei LEDs eine Proportionalität zwischen Energieverbrauch und Lichtstrom besteht. Während der Hauptschlafenszeit ist die Lichtverschmutzung bei einer ausschliesslichen Passanten-Beleuchtung sogar auf bis zu 100% - der natürlichen Nächtlichkeit - zu reduzieren.

Daraus resultiert eine erhöhte Sichtbarkeit des Sternenhimmels, einem laut UNESCO zu schützenden Kulturgut. Zusätzlich wirkt die Beleuchtungs-Reduzierung von Positionsadaption gegen das gesteigerte Krebs- und Depressionsrisiko und gegen eine vielfache Vernichtung von Insekten mit den daraus resultierenden Störungen des ökologischen Gleichgewichtes.

Für eine Verhinderung der negativen Einflüsse von Kunstlicht auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt empfiehlt sich eine weitere Anwendung mit einer neuen Wirkungsweise:

Bioadaption schaltet Lichtschäden bei den Bewohnern durch einen Farbwechsel aus. Rotes Licht wird von den für die biologische Steuerung zuständigen Cryptochromen Rezeptoren nicht wahrgenommen, die Ausschüttung des Hormons Melatonin nicht gestört und somit auch keine Gesundheitsstörungen hervorgerufen. Auch von nachtaktiven Insekten wird rotes Licht meist nicht detektiert, denn ihre visuelle Empfindlichkeit liegt jenseits des roten Farbspektrums.

Die letzte ermittelte Adaption kombiniert die beiden vorangegangenen Massnahmen - deshalb auch ihre Bezeichnung: **Bio-Positionsadaption** besitzt die gleiche Rotfärbung mit denselben Vorteilen für Mensch und Umwelt wie Bioadaption. Gleichzeitig optimiert sie jedoch die Sicherheit, indem die Passanten-Umgebung von roter zu weisser Lichtfarbe moduliert wird.

Wie die Aufzählung der ermittelten Beleuchtungs-Lösungen zeigt, eignen sich die ersten fünf Adaptionen eher als unterstützende Anwendungen. Hauptsächlich die restlichen drei Anwendungen Positions- und Bioadaption sowie Biopositions-
adaption führen zu vielfältigen medizinischen, ökologischen, sicherheitstechnischen und ökonomischen Verbesserungen - womit die Ausgangsthese der Untersuchung verifiziert ist (Kap. 1.5): Die Anwendung von adaptiver LED-Beleuchtung führt zu nachhaltigen Verbesserungen des Stadtlichtes.

94

Darüberhinaus können alle acht Anwendungen in einem Adaption-Katalog aufgelistet werden. In Abhängigkeit zu lokalen Beleuchtungsaufgaben und Nutzerinteressen ermöglicht dieser Katalog eine Auswahl spezifischer Adaptionen, um angemessen auf den jeweiligen Beleuchtungsbedarf zu reagieren. Statt einer Anzahl von Einzellösungen ergibt sich ein adaptives Stadtbeleuchtungs-Verfahren.

8.5 Die Auswirkungen (Kap. 7)

Die erfolgreiche theoretische Ermittlung und Zusammenstellung von acht Adaptionen bestätigt die gewählte Methodik. Sie gewährleistet durch eine Einordnung in aktuelle Themen der Stadtbeleuchtung auch Aussagen über Auswirkungen des Adaptiven Stadtlichtes auf die Lichtgestalt.

95 Für die Veränderung der Lichtfarbe durch Bioadaption bestehen zwar Bedenken, doch diese sind mit der derzeitigen Ausbreitung der gelbfarbigen Natriumdampf-Hochdrucklampen in der Stadtbeleuchtung vergleichbar und durch Bio-Positionsadaption einzuschränken.

Die steigende Nachfrage nach Lichtmasterplänen kommt dem Einsatz von Adaptivem Stadtlicht entgegen. Lichtmasterpläne werden als Planungsgrundlage die lokalen Grenzen und Anwendungsdauer der Adaptionen definieren. In ihnen sind Aussagen über die Gestaltung von mehr Nächtlichkeit mit unterschiedlichen Dunkelheiten zu treffen. Dem Wunsch nach einer stärkeren Verdunkelung der Städte und - daraus resultierend - einer grösseren Hell-Dunkel-Dramatik für einzelne Illuminationen ist hauptsächlich mit Positionsadaption nachzukommen.

Aus sich selbst heraus führt Adaptives Stadtlicht zur Abschaffung einer weiteren, von Gerhard Auer als „photonische Ermüdung“ bezeichneten „Torheit der Lichtplanung“. Diese Forderung nach einer Aufhebung der Lichtstabilität wird durch die Anpassung an äussere Einflüsse prinzipiell umgesetzt. Der Wechsel von Lichtintensität und Lichtfarbe entsteht dabei nicht aus dekorativen sondern aus funktionalen Gründen. Die wahrscheinlich fast als natürlich wahrgenommenen Licht-Veränderungen werden die städtischen Aussenräume in dynamisches Licht tauchen und so zu einem neuen Parameter der Lichtgestaltung avancieren.

Die physiologisch angemessene Geschwindigkeit der Lichtanpassungen ist genauso wie alle erforderlichen Erkenntnisse zur Realisierung von Adaptivem Stadtlicht in Probe-Installationen zu untersuchen. Diese bilden schliesslich den endgültigen, praktischen Beweis dafür, dass mit Adaptivem Stadtlicht eine Beleuchtungs-Methode für die Zukunft gefunden wurde.

Nach den Helligkeitssteigerungen des 19. und den technischen Optimierungen des 20. Jahrhunderts lautet die Parole für das 21. Jahrhundert „gesundes, reduziertes, sicheres und preiswertes Stadtlicht“.

Die Grundlagen sind mit dieser Untersuchung gelegt.

Anhang

Quellenverzeichnis

QU 001: Zumthor, P. u. a.: Wieviel Licht braucht der Mensch, um leben zu können, und wieviel Dunkelheit? Zürich: vdf Hochschulverlag, 2006, S. 34.

Anm. JB: Der vollständige Satz heisst: „Wir beleuchten unsere Häuser und Strassen, wir beleuchten unseren Planeten, vertreiben kleine Stücke der Finsternis, schaffen Inseln des Lichts, auf denen wir uns selbst und die Dinge, die wir um uns herum versammelt haben, sehen können.“

QU 002: Kleine, P. M.: Herrschaftslicht - Bürolicht - Stadtlicht? In: Brockhaus, Peter: Stadtlicht Lichtkunst, Ausstellungskatalog zur Ausstellung, Stiftung Wilhelm Lehmbruck Museum. Köln: Wienand, 2004, S. 26.

QU 003: Kirchmann, K.: Vom erhellenden zum gestaltenden Licht : Die Licht-Ontologie im Theater der Moderne. In: Engell, Lorenz; Vogel, Joseph; Siegert, Bernhard (Hrsg.): Licht und Leitung. Weimar: Universitätsverlag, 2002, S. 139 ff.

QU 004: Held, W.: Künstliche Beleuchtung und Architektur. In: Heilmeyer, Wolf-Dieter; Hoepfner, Wolfram: Licht und Architektur. Berlin: Ernst Wasmuth Verlag, 1990, S. 55 ff.

QU 005: Definition nach: Fördergemeinschaft Gutes Licht: Gutes Licht für Sicherheit auf Strassen, Wegen und Plätzen, Heft 3. Braunschweig: Westermann, 2000, S. 2 f.

Anm. JB: Z. B. wurde in Edessa (dem heutigen Urfa) eine Strassenbeleuchtung eingerichtet, die schätzungsweise 4.000 - 5.000 Lampen umfasste. Bei einem angenommenen Lampenabstand von 4m konnten so 8 km Strasse beleuchtet werden, was für eine Stadt von 1km² Fläche bereits beträchtlich ist.

QU 006: siehe QU 004, S. 55.

QU 007: siehe QU 004, S. 57 f und Seitter, W.: Geschichte der Nacht. Berlin: Philo Verlagsgesellschaft, 1999, S. 100 ff.

QU 008: Hoormann, A.: Licht-Kunst am Bau. Zur Virtualisierung der Architektur. In: Engell, Lorenz; Vogel, Joseph; Siegert, Bernhard (Hrsg.): Licht und Leitung. Archiv für Medien-geschichte. Weimar: Universitätsverlag, 2002, S. 215 ff.

Anm. JB: Im antiken Rom wurde z. B. das Forum Romanum für nächtliche Spiele illuminiert oder Stadtpanoramen als Kulisse für Festessen hell erleuchtet „dass keine Dunkelheit mehr wahrnehmbar war“.

QU 009: Schivelbusch, W.: Lichtblicke : Zur Geschichte der künstlichen Helligkeit im 19. Jahrhundert. Frankfurt am Main: Fischer, 1986, S. 138 ff.

Anm. JB: Läden des 17. und 18. Jahrhunderts öffneten sich mit beleuchteten Reklameschildern und neu entstandenen

Schaufenstern in dem Masse zur Strasse hin, in dem deren Passanten aus potentiellen Käufern bestand.

QU 010: Auer, G.: Grundlagen der Lichtgestaltung für den städtischen Aussenraum. In: Erke, Heiner; Keunecke, Frank: Ausstattung und Beleuchtung von Strassenräumen : Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Heft V 46. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, 1997, S. 75 ff.

Anm. JB: G. Auer unterscheidet dabei zwischen institutioneller Beleuchtung (Sicherheitslicht), merkantiler und Repräsentativ-Beleuchtung (Werbe-Licht) bzw. ritueller Beleuchtung (Fest-Licht) und residentieller Beleuchtung (Privates Empfangs-Licht).

QU 011: Seitter, W.: Geschichte der Nacht. Berlin: Philo Verlagsgesellschaft, 1999, S. 100 ff. 98

QU 012: siehe QU 009, S. 12 ff.

QU 013: siehe QU 009, S. 45 ff.

QU 014: Philips AEG Licht GmbH; WestLB AG; WestKC GmbH: Zwischenbericht ENlight, 2005, S. 6 ff unter www.energiekonsens.de/Downloads/Projekte/EnLight-Zwischenbericht.pdf (20.03.2007).

QU 015: www2.philips.de/licht/onlineacademy (20.03.07).

QU 016: Fördergemeinschaft Gutes Licht: LED - Licht aus der Leuchtdiode. Braunschweig: Westermann, 2005, S. 1 ff.

Anm. JB: Angaben schwanken in Abhängigkeit zum LED-Typ.

QU 017: siehe QU 015.

Anm. JB: Bei der Konversion einer Blaulicht-LED regt das Licht einer blauen LED Leuchtstoff an, der einen Teil des blauen in gelbes Licht wandelt. Durch Überlagerung des blauen mit dem gelben Licht ergibt sich die Lichtfarbe weiss.

QU 018: www.strassenlicht.de (20.03.07).

QU 019: Philips: Neue Lösungen mit LED-Lichttechnik : In Bewegung von Atelier Brückner. Eindhoven: Philips, 2006, S.10 f.

QU 020: Philips: Neue Lösungen mit LED-Lichttechnik : Natürlich und künstlich von Atelier Oi. Eindhoven: Philips, 2006, S.14 f.

99 QU 021: Philips: Neue Lösungen mit LED-Lichttechnik : Multifunktionelle Beleuchtung im städtischen Kontext von Jörg Krewinkel. Eindhoven: Philips, 2006, S.18 ff.

QU 022: Definitionen aus: Dose, M. u. a.: Duden : Das Fremdwörterbuch. 5. Aufl. Speyer: Klampt, 1990, S. 55

QU 023: siehe QU 009, S. 31 ff.

QU 024: Beispielsweise bei Audi unter: www.audi.de/audi/de/de2/tools/glossary/sicherheit/glossary004.html (20.03.2007)

QU 025: Berson, D.; Dunn, F.; Motoharu Takao: Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. Washington: Science, 2002.

Anm. JB: 150 Jahre nach der Entdeckung der Stäbchen und Zapfen war die Entdeckung eines neuartigen Rezeptortypen in der Netzhaut von Säugetieren das fehlende Glied bei der

Erklärung von lichtgesteuerten biologischen Effekten.

QU 026: van den Beld, G.; van Bommel, M.; Fassian, M.: Beleuchtung am Arbeitsplatz : Visuelle und biologische Effekte. Eindhoven: Philips, 2004, S. 3ff.

Anm. JB: Das Ziel der Autoren - Mitarbeitern von Philips - ist allerdings nicht eine Verringerung der Kunstlicht-Einflüsse sondern, ganz im Gegensatz, eine gezielte Veränderung der Lichtfarbe zur Steigerung der Arbeitseffektivität - und dadurch die Gefahr einer Erhöhung der Kunstlicht-Einflüsse.

QU 027: Brainard, G.: Photoreception for regulation of melatonin and the circadian system in humans : Fifth International LRO lighting research symposium Orlando. In: QU 026, S. 5.

Anm. JB: Auf Grundlage des biologischen Faktors „Melatonin-Unterdrückung“ war Brainard in der Lage, die spektrale Kurve der biologischen Empfindlichkeit zu bestimmen.

QU 028: Gollnick, F: endokrine Systeme und Krebs. Berlin: Tagungsbericht Licht, 2002

Anm. JB: Wissenschaftler an der Harvard Medical School in Boston sammelten z. B. Daten von über 120.000 Krankenschwestern. Das Ergebnis: Krankenschwestern, die nachts arbeiten und deshalb häufiger Kunstlicht ausgesetzt sind haben niedrigere Melatonin- und erhöhte Östrogenwerte und ein um 30% höheres Krebsrisiko.

QU 029: Veröffentlichung am 21.01.2004 unter www.wissenschaft.de/sixcms/detail.php?id=236607 (20.03.2007).

Anm. JB: Das Risiko für diese Tumorarten steigt im Extremfall einer regelmässigen Nachtarbeit über einen Zeitraum von 15 Jahren um bis zu 35 Prozent an!

QU 030: Definitionen z. B. in: Baatz, W: Gestaltung mit Licht. Stuttgart: Urania, 1994, S. 58.

QU 031: Kolligs, D.: Ökologische Auswirkungen künstlicher Lichtquellen auf nachtaktive Insekten. Berlin: BUND, 2003, S. 8 ff unter www.lightpollution.it/dmsp/index.html (20.03.2007).

QU 032: UNESCO: European Symposium on the protection of the night sky : Jahresbericht der UNESCO-Kommission. Bern: UNESCO, 1992 unter http://www.darksky.ch/downloads/artikel/rlkobler_dipl.pdf (20.03.2007).

QU 033: Growth of light pollution in Italy 1971, 1998, 2025 unter www.lightpollution.it/dmsp/predictions.html (20.03.2007).

QU 034: www.strassenbeleuchtung.de/technik/index.php (20.03.2007).

Anm. JB: Alle Punkte, die nicht durch die neue Norm abgedeckt sind, werden in eine Restnorm DIN 5044 übernommen und gelten weiter wie bisher.

QU 035: DIN EN 13201 „Ortsfeste Verkehrsbeleuchtung“. Berlin: VDE-Verlag, 2004-2007.

QU 036: Städte- und Gemeindebund Nordrhein-Westfalen: Thema Strassenbeleuchtung. München: Beck, 2002, S. 14.

QU 037: Fördergemeinschaft Gutes Licht: Gutes Licht für Sicherheit auf Strassen, Wegen und Plätzen, Heft 3. Braunschweig: Westermann, 2000, S. 6 ff.

QU 038: Kühn, M: Weiterentwicklung von Fussgänger-Komponententests unter dem Aspekt der Anpassung an das reale Unfallgeschehen und der Bewertung technischer Massnahmen zur Erhöhung des Fussgängerschutzes. In: 3. Zukunftsworkshop des Jungen Forums : Innovationen und Lösungen für den Verkehr 2030. Berlin: Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft, 2005, S. 31.

Anm. JB: M. Kühn arbeitet deshalb an Simulationsmodellen zur Optimierung von Fahrzeugfronten.

QU 039: Kommission der Europäischen Gemeinschaft: Europäisches Aktionsprogramm für die Strassensicherheit : Mitteilung der Kommission 311. Brüssel: Europäische Union, 2003.

QU 040: Philips AEG Licht GmbH; WestLB AG; WestKC GmbH: Zwischenbericht ENlight, 2005, S. 6 ff unter www.energiekonsens.de/Downloads/Projekte/EnLight-Zwischenbericht.pdf (20.03.2007).

QU 041: schriftliche Auskunft Herrn H. Mounier, BS-Energy vom 10.04.2006.

QU 042: siehe QU 040.

QU 043: siehe QU 040.

QU 044: Abgeordnetenhaus: Drucksache 15/11416 : Berlin ist helle - auch bei der Strassenbeleuchtung? Berlin: Kulturbuch-

verlag, 2004, S. 2.

QU 045: www.strassenbeleuchtung.de/technik/index.php (20.03.2007).

QU 046: telefonische Auskunft von Dirk Seifert, Philips Lighting GmbH, Springe am 21.02.2007.

Anm. JB: Aktuelle LED-Prototypen erreichen bereits wesentlich höhere Werte.

QU 047: Spezifikation nach: Jameson, A: Modelling both the context and the user : Personal and Ubiquitous Computers 5. London: Springer, 2001, S. 29-33.

QU 048: Schivelbusch, W.: Lichtblicke : Zur Geschichte der künstlichen Helligkeit im 19. Jahrhundert. Frankfurt am Main: Fischer, 1986, S. 91 f.

Anm. JB: Detaillierte Leuchtanweisungen z. B. für Paris erteilte im 17. Jahrhundert die Polizei, wobei in Abhängigkeit zur Mondscheindauer das jeweilige Gewicht der Kerzen angeordnet wurde. Im 18. Jahrhundert etablierten sich permanente Laternen, die von Sonnenuntergang bis Sonnenaufgang leuchteten und variable Laternen, die nur dann angezündet wurden, wenn der Mondschein nicht zur Beleuchtung ausreichte.

QU 049: siehe QU 048, S. 47ff.

QU 050: Sensoren zum Ausgleich von Alterungserscheinungen z. B. von Gundermann Videowall GmbH unter: www.gundermann-videowall.de (20.03.2007).

Anm. JB: Mit einer Software und speziellen Kamera-Sensoren sind Farben bzw. die Helligkeit der LEDs immer wieder neu zu justieren.

QU 051: Dämmerungs- und Helligkeitssensoren z. B. von Elka-Elektronik GmbH unter: www.elka.de (20.03.2007).

Anm. JB: Dämmerungssensoren erfassen über eine Foto-Diode im Gegensatz zu Helligkeitssensoren ausschliesslich Helligkeiten zwischen 0 und 250 Lux.

QU 052: Bundesministerium für Verkehr: Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr und der Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen e. V. : Institut für Strassenwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen Heft 709. Aachen: Technische Hochschule, 1995, S.3.

QU 053: Uschkamp, G; Bundesanstalt für Strassenwesen (Hrsg.): Strassenbeleuchtung und Verkehrssicherheit : Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen Heft V 14. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, 1994, S. 15.

QU 054: Strassenzustands-Sensoren z. B. von Kroneis GmbH unter: www.kroneis.at (20.03.2007).

QU 055: Sichtweite-Sensoren z. B. von Vaisala GmbH unter: www.vaisala.com (20.03.2007).

QU 056: www.ffochsenfurt.de/historie.htm (20.03.2007).

Anm. JB: Ein Gehilfe hatte dafür zu sorgen, dass die Pechpfannen in Richtung des Brandobjektes angezündet wurden,

damit die Wasserführer den Weg fanden. Im Kriegsfall mussten sämtliche Pechpfannen sofort, wenn der Feind sich näherte, angebrannt werden.

QU 057: Daten-Integrationen z. B. unter: www.iis.fraunhofer.de/fhg/iis/abt/hf/index.jsp (20.03.2007).

QU 058: Optoelektronische Sensoren z. B. unter: Hauptmann, P; Lucklum, R: Sensoren : aktueller Stand und Herausforderung. In: Magdeburger Wissenschaftsjournal 1-2. Magdeburg: Universitätsverlag, 2003, S. 71.

QU 059: Laserscanner z. B. unter: www.uni-koblenz.de/~agrt/lehre/ss2003/seminar/thomas_bernd.pdf (20.03.2007).

QU 060: Bewegungs- und Präsenzmelder unter: www.wikipedia.org/wiki/Bewegungsmelder (20.03.2007).

QU 061: Näheres zu Radar-Sensoren beispielsweise unter: content.honeywell.com/dses/assets/datasheets/RS_d_40702.pdf (20.03.2007).

QU 062: Näheres über WLAN-Detektion beispielsweise unter: <http://www.ccc.de/congress/2004/fahrplan/event/232.de.html> (20.03.2007).

QU 063: izmf-Newsletter vom Mai 2005 unter www.izmf.de/html/de/index.html (20.03.2007).

Anm. JB: Die globale Verbreitung von Mobiltelefonen nimmt auch bei Kindern weiter zu.

QU 064: [\[onstechnologie/bericht-34734.html\]\(http://www.innovations-report.de/html/berichte/informati-onstechnologie/bericht-34734.html\) \(20.03.2007\).](http://www.innovations-report.de/html/berichte/informati-</p></div><div data-bbox=)

Anm. JB: Das europäische Satellitenortungssystem Galileo wird wesentlich exakter und unabhängig von militärischen Interessen funktionieren.

QU 065: www.iis.fraunhofer.de und Röder, P: Location Server, ein verteiltes Framework für die nahtlose Nutzung von Lokalisierungsverfahren für ortsgebundene Dienste. Diplomarbeit an der TU Darmstadt, Fachbereich Informatik, Sicherheit in der Informationstechnik in Kooperation mit Fraunhofer Institut, Sichere Telekooperation, Darmstadt. 2004 unter <http://www.sec.informatik.tu-darmstadt.de/index.php?lang=de&page=pages/staff/roeder/> (20.03.2007).

Anm. JB: Laufzeit- und Feldstärkemessung sind nur zwei Beispiele einer Ortungsverfeinerung. Dabei wird die Position über den aus Signallaufzeit oder Signalstärke ermittelten Abstand zu verschiedenen Zellen berechnet, wobei die jeweiligen Zellen-Kennungen (Cell-ID, Location-Area-Code, Network Code und Country-Code) einfließen. 102

QU 066: Gespräch mit A. Kamann, Geschäftsführer der com-loc GmbH am 12. Mai 2006.

QU 067: www.track-your-kid.de (20.03.2007).

QU 068: Zivadinovic, D; Zogg, J.-M.: GPS im Haus, Ortung per Handy : Funktion und Verfeinerung. c't-Archiv 20/2004, Seite 222 unter <http://www.heise.de/kiosk/archiv/ct/2004/20/222> (20.03.2007).

Anm. JB: Studien zeigen, dass 60 Prozent der Anrufer in Notfallsituationen ihren Standort nicht präzise genug angeben können, und 98 Prozent dieser Anrufer melden sich mit einem Handy – nur zwei Prozent per Festnetztelefon. Da im EU-Raum jährlich rund 80 Millionen Notfall-Anrufe zustande kommen, scheint dringender Bedarf an präzisen Ortungstechniken gegeben. Wenn diese implementiert sind, dürfte das Ortungs-Angeboten neuen Auftrieb geben.

QU 069: <http://www.toll-collect.de> (20.03.2007).

QU 070: Bericht in Deutschlandradio Kultur vom 20.02.2007 um 16.50 Uhr unter <http://www.dradio.de/dkultur/sendungen/ewelten/596336/> (26.02.2007).

103 QU 071: www.iis.fraunhofer.de/fhg/iis/pr/Presse/Pressemitteilungen_2007/Embedded_World_2007.jsp und <http://www.iis.fraunhofer.de/fhg/iis/abt/hf/index.jsp> (20.03.2007).

QU 072: Bericht des Berliner Beauftragten für Datenschutz und Informationsfreiheit unter www.datenschutz-berlin.de (20.03.2007).

QU 073: Schivelbusch, W.: Lichtblicke : Zur Geschichte der künstlichen Helligkeit im 19. Jahrhundert. Frankfurt am Main: Fischer, 1986, S. 55 ff.

QU 074: siehe QU 073, S. 84 f.

QU 075: Held, W.: Künstliche Beleuchtung und Architektur. In: Heilmeyer, Wolf-Dieter; Hoepfner, Wolfram: Licht und Architektur. Berlin: Ernst Wasmuth Verlag, 1990, S. 53 ff.

QU 076: Fördergemeinschaft Gutes Licht: LED - Licht aus der Leuchtdiode. Braunschweig: Westermann, 2005, S. 2.

QU 077: siehe QU 073, S. 67 ff.

QU 078: Näheres über Lichtsteuerungssysteme mit Einzellichtsteuerung z. B. der Firma Zumtobel unter: www.indices.cc/berichte/1/8793_gb_20052006.pdf (20.03.2007).

QU 079: www.strassenbeleuchtung.de/technik/sonstiges/schaltenderstraenbeleuchtung/index.html (20.03.2007).

QU 080: www.se-ag.ch/downloads/Dokumentation/05_Technische_Daten_adaptolux/LED_Technologie_IH_x3.pdf (20.03.2007).

QU 081: www.iis.fraunhofer.de/fhg/iis/pr/Presse/Pressemitteilungen_2007/Embedded_World_2007.jsp (20.03.2007).

QU 082: www.stmi.bayern.de/imperia/md/content/stmi/sicherheit/verkehrssicherheit/sicher_auf_bayerns_strassen2/sicherundfair_grafiken.ppt#7 (20.03.2007).

QU 083: z. B. in Braunschweig 0,05GWh (ohne privates Kommerzlicht) im Gegensatz zu 11,7 GWh für Sicherheitslicht unter www.braunschweig.de/umwelt_naturschutz/infos/umweltatlas/11/11_3_2.html (20.03.2007).

QU 084: www.strassenbeleuchtung.de/technik/beleuchtung/index.html (20.03.2007).

QU 085: www.ba-wue.gruene.de/index.php?id=5133 (20.03.2007).

QU 086: www.friedelsheim.de/agenda21i.htm (20.03.2007).

QU 087: Pressemitteilung Nr. 040/07 des BMU vom 09.02.2007 unter www.bmu.de/pressemitteilungen/pressemitteilungen_ab_22112005/pm/38672.php (20.03.2007).

QU 088: Hoormann, A.: Licht-Kunst am Bau. Zur Virtualisierung der Architektur. In: Engell, Lorenz; Vogel, Joseph; Siegert, Bernhard (Hrsg.): Licht und Leitung. Archiv für Medien-geschichte. Weimar: Universitätsverlag, 2002, S. 213 ff.

QU 089: van den Beld, G; van Bommel, M u. a.: Beleuchtung am Arbeitsplatz : Visuelle und biologische Effekte. Eindhoven: Philips, 2004, S.14.

QU 090: www.lighting.philips.com/de_de/architect/lamps_leds_gear_innovations/pro/index.php?main=de_de&parent=de_de&id=de_de_pro_active_lightscaping&lang=de (20.03.2007).

QU 091: Römhild, T.: Stadtbeleuchtung - Teil der kulturellen Identität der Städte. In: Das Bauzentrum 2002/7. Darmstadt: Das Beispiel, 2002, S. 6 ff.

QU 092: siehe QU 090.

QU 093: Fördergemeinschaft Gutes Licht: Stadtmarketing mit Licht. Braunschweig: Westermann, 2002, S. 2.

QU 094: van Santen, C.: Lichtraum Stadt : Lichtplanung im urbanen Kontext. Basel: Birkhäuser, 2006, S. 26.

QU 095: Stadtplanungsamt Düsseldorf: Lichtmasterplan Düsseldorf : Beiträge zur Stadtplanung und Stadtentwicklung in Düsseldorf. Düsseldorf: Knipping, 2003.

QU 096: siehe QU 095, S. 20-23.

QU 097: siehe QU 095, S. 28-31.

QU 098: siehe QU 095, S. 24-25.

QU 099: Seitter, W: Geschichte der Nacht. Berlin: Philo, 1999, S. 100 ff.

QU 100: Zumthor, P. u. a.: Wieviel Licht braucht der Mensch, um leben zu können, und wieviel Dunkelheit? Zürich: vdf Hochschulverlag, 2006, S. 46.

QU 101: TNS Emnid-Umfrage 2002 unter www.presseportal.de/story.htx?nr=405697&firmid=24835 (20.03.2007).

QU 102: Casati, R.: Die Entdeckung des Schattens. Berlin: Berlin Verlag, 2001, S. 24 f.

QU 103: www.dynamiclighting.philips.com.

Anm. JB: Wie bereits in der Anmerkung zu QU 26 erwähnt, werden hierbei negative medizinische Auswirkungen ausser Acht gelassen.

QU 104: Appelt, S.: Ein neues Beleuchtungssystem für den Aussenbereich. In: Zumtobel: 678,6kW : Geschäftsbericht der Zumtobel AG 2005/2006. Immenstadt: Eberl, 2006, S. 199 ff.

QU 105: Philips: Neue Lösungen mit LED-Lichttechnik : Lichterschwarm von Zaha Hadid Architects. Eindhoven: Philips, 2005, S. 4 f.

QU 106: siehe QU 105.

QU 107: Yamamoto, Y.: Behavioral Stochastic Resonance within the Human Brain. In: Physical Review Letters 90, 2003,

unter www.wissenschaft.de/sixcms/detail.php?id=214468
(20.03.2007).

QU 108: Daniels, D.: Strategien der Interaktivität. 2002 unter
www.medienkunstnetz.de/Textdud.html (20.03.2007).

Anm. JB: „Top-down“ ist dabei ein Prinzip eines geschlossenen Systems, „Bottom-up“ hingegen ein Prinzip eines offenen Systems.

QU 109: Auer, G: Die sieben Torheiten der Lichttechnik :
Eröffnungsvortrag der Ausstellung Licht + Arbeit im Museum
für angewandte Kunst, Köln. Unveröffentlichtes Manuskript,
1998, S. 2 f.

105 Anm. JB: G. Auer nennt als weitere „Torheiten“ den „Verlust
des Feuers“, die „Paralysierung der Sonne“, die „Diktatur der
Ergonomie“ und die „biologische Verfinsterung“.

QU 110: [www.focus.de/digital/handy/mobilfunkinnovation_
nid_44289.html](http://www.focus.de/digital/handy/mobilfunkinnovation_nid_44289.html) (20.03.2007).

Anm. JB: Der Rat der Stadt Stuttgart hat inzwischen das Vorhaben „SMS-Leuchte“ abgelehnt.

Abbildungsverzeichnis

AB 01-03: Philips: Produkt-Neuheiten Innen- und Aussenleuchten : LED-Produkte 2006. Eindhoven: Philips, 2006, S. 57.

AB 04: Philips: Aussenleuchtenkatalog 2006/2007. Eindhoven: Philips, 2006, S. 1.23.

AB 05: Philips: Produkt-Neuheiten Innen- und Aussenleuchten : LED-Produkte 2006. Eindhoven; Philips, 2006, S. 44.

AB 06: Fotograf: Ortmeier, C.: Ortmeier Architekturfotografie Braunschweig.

AB 07: Luxeon Star 0 unter www.lumileds.com (20.03.2007).

AB 08: Luxeon M-Series unter www.lumileds.com
(20.03.2007).

AB 09: Philips: Neue Lösungen mit LED-Lichttechnik. Eindhoven: Philips, 2005, S. 11/15.

AB 10: siehe AB 09, S. 10 f.

AB 11: siehe AB 09, S. 14 f.

AB 12: siehe AB 09, S. 18 ff.

AB 13: siehe AB 09, S. 19 f.

AB 14: Darstellung d. Verf.

AB 15: Darstellung d. Verf. nach: [http://de.wikipedia.org/
wiki/Bild:Spektrum.png](http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Spektrum.png) (20.03.2007).

AB 16: Darstellung d. Verf. nach: Fördergemeinschaft Gutes

Licht: LED - Licht aus der Leuchtdiode. Braunschweig: Westermann, 2005, Abb. 3, S. 3.

AB 17: Darstellung d. Verf. nach: Brainard, G.: Photoreception for regulation of melatonin and the circadian system in humans : Fifth International LRO lighting research symposium Orlando. In: van der Beld, G.; van Bommel, M.; Fassian, M.: Beleuchtung am Arbeitsplatz : Visuelle und biologische Effekte. Eindhoven: Philips, 2004, Abb. 3.

Anm. JB: Die spektrale Kurve der biologischen Empfindlichkeit basiert auf der Melatonin-Unterdrückung.

AB 18: Darstellung d. Verf. unter Verw. von AB 16 und AB 17.

AB 19: A map of the night-time city lights of the world constructed from images taken by the Defense Meteorological Satellite Program's Operational Linescan System unter http://science.nasa.gov/headlines/y2000/ast15nov_1.htm (20.03.2007).

AB 20: Naked eye star visibility in Europe unter www.lightpollution.it/dmsp/starvis.html (20.03.2007).

AB 21: Growth of light pollution in Italy 1971, 1998, 2025 unter www.lightpollution.it/dmsp/predictions.html (20.03.2007).

AB 22: Darstellung d. Verf. nach Angaben des Statistischen Bundesamts. In: Fördergemeinschaft Gutes Licht: Gutes Licht für Sicherheit auf Strassen, Wegen und Plätzen. Braunschweig: Westermann, 2000, S. 6.

AB 23: siehe AB 22.

AB 24: Darstellung d. Verf. nach: Beginn und Ende der bürgerlichen Dämmerung in Berlin mit Angaben der Dunkelstunden unter <http://www.jgiesen.de/ErdeSonne/projekte/jahreszeiten.html> (20.03.2007).

AB 25: Darstellung d. Verf. unter Verw. von www.lumileds.com/pdfs/AB12.PDF (20.03.2007).

AB 26: Darstellung d. Verf. unter Verw. von http://de.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetisches_Spektrum (28.02.2007) und QU 058-066.

AB 27: Darstellung d. Verf. nach: www.lumileds.com/solutions/solution.cfm?id=4 und www2.philips.de/licht/onlineacademy/samples/el_led.pdf (20.03.2007).

AB 28: Darstellung d. Verf. nach: <http://www.itp.uni-hannover.de/~zawischa/ITP/fmetr.pdf> (20.03.2007).

AB 29-32: Darstellungen d. Verf.

AB 33-34: Darstellungen d. Verf.

AB 35: Darstellungen d. Verf.

AB 36: Darstellung d. Verf. unter Verw. von AB 24.

AB 37: siehe AB 36.

AB 38: Simulation d. Verf. unter Verw. eines nächtlichen Stadtpanoramas von Paris. Fotograf: van Hengstum, J.: `s-Hertogenbosch. In: van Santen, C.: Lichtraum Stadt. Basel: Birkhäuser, 2006, S. 76-77.

AB 39: Darstellung d. Verf. unter Verw. von AB 24.

AB 40: Darstellung d. Verf. unter Verw. von AB 39.

AB 41: Simulation d. Verf. unter Verw. von Edward Hoppers Nighthawks. In: Kranzfeld, I.: Hopper. Köln: Taschen, 2002, S. 148 f.

AB 42: Simulation d. Verf. unter Verw. von: Luftbild von Chicago. Fotograf: Irving, G.: Panoramic Images/Premium. In: Umweltstiftung WWF: Reflexionen, Licht - Medium der Zukunft. Ostfildern: Mairs, 2000, S. 192 f.

AB 43: Darstellung d. Verf. unter Verw. von AB 24 und AB 36.

AB 44: Simulation d. Verf.

AB 45: Simulation d. Verf.

AB 46: Simulation d. Verf.

107 AB 47: Simulation d. Verf. unter Verwendung einer Fotografie des Neptunbrunnens in Rom. Fotograf: Simeone, G.: Archivio Sime. In: Barberini, M. G.: Rom, Kunst und Architektur. Köln: Könemann, 1999, S. 514 f.

AB 48-50: Darstellungen d. Verf.

AB 51: Darstellung d. Verf.

AB 52: Darstellung d. Verf.

AB 53: Darstellung d. Verf. auf Grundlage von: Philips AEG Licht GmbH; WestLB AG; WestKC GmbH: Zwischenbericht EN-light, 2005, S. 6 ff unter www.energiekonsens.de/Downloads/Projekte/EnLight-Zwischenbericht.pdf (20.03.2007).

AB 54-56: Darstellungen d. Verf. unter Verw. von: Gall, D.: Beleuchtungsrelevante Aspekte bei der Auswahl eines förderlichen Lampenspektrums. TU Ilmenau, Fachgebiet

Lichttechnik, 2003, S. 15 f unter <http://www3.tu-ilmenau.de/fakmb/fileadmin/template/fgl/publikationen/2003/teil1.pdf> und von Firmenangaben.

AB 57: Darstellung d. Verf. nach: Fördergemeinschaft Gutes Licht: LED - Licht aus der Leuchtdiode. Braunschweig: Westermann, 2005, Abb. 3, S. 3.

AB 58: Fotografie von Atelier Fritschi, Düsseldorf. In: Stadtplanungsamt Düsseldorf: Lichtmasterplan Düsseldorf : Beiträge zur Stadtplanung und Stadtentwicklung in Düsseldorf. Düsseldorf: Knipping, 2003, S. 26.

AB 59: Simulation d. Verf. auf Grundlage von AB 58.

AB 60: Simulation von Atelier Fritschi siehe AB 58.

AB 61: Fotografie von Atelier Fritschi siehe AB 58, S. 12 f.

AB 62: Simulation von Atelier Fritschi siehe AB 61.

AB 63: Planung Auswahl von Plätzen von Atelier Fritschi, siehe AB 58, S. 20.

AB 64: Planung Lichtinszenierungen von Atelier Fritschi siehe AB 58, S. 28.

AB 65: Planung Lichtqualität und Ambiente von Atelier Fritschi siehe AB 58, S. 24.

AB 66: Simulation d. Verf. unter Verw. von: Luftbild von Chicago. Fotograf: Irving, G.: Panoramic Images/Premium. In: Umweltstiftung WWF: Reflexionen, Licht - Medium der Zukunft. Ostfildern: Mairs, 2000, S. 192 f.

AB 67-69: Simulationen Symphonikerplatz/Seeanlagen Bre-

genz 2006. In: Zumtobel: 678,6kW : Geschäftsbericht der Zumtobel AG 2005/2006. Immenstadt: Eberl, 2006, S. 200 ff.
AB 70-72: Philips: Neue Lösungen mit LED-Lichttechnik. Eindhoven: Philips, 2005, S. 4

Nachtrag

Wie gross der Bedarf an neuen Beleuchtungslösungen für Stadtlicht ist, zeigen (kurz nach Abschluss der vorliegenden Untersuchung) zahlreiche Publikationen und Anfragen aus Städten wie Stuttgart, Essen oder Köln zu einer neuentwickelten SMS-Leuchte in Lemgo. Dort können Passanten mit einer SMS an die Stadtwerke eine abgeschaltete Radweg-Beleuchtung für 50 Cents 15 Minuten lang einschalten (QU 110).

Was sich zunächst nach Adaptivem Stadtlicht anhört, steht allerdings in diametralem Widerspruch dazu: Die Anwendung wird ausschliesslich zur Mauterhebung genutzt - sonst würde sich ja ein einfacher Schalter direkt an der Leuchte anbieten.

108

Statt sich an Vorteilen einer benutzerfreundlichen Beleuchtungssteuerung mit den Potentialen der Mobilfunktechnik erfreuen zu können, muss der Passant von seinem Fahrrad absteigen, eine SMS schreiben und für die Beleuchtung zusätzlich bezahlen. Statt einer auf Qualitätssteigerung ausgerichteten Lösung ergeben sich durch die SMS-Leuchte starke Nachteile sowohl funktionaler, finanzieller und sozialer Art. Es handelt sich hierbei keinesfalls um eine neue optimierende Beleuchtungssteuerung sondern lediglich um eine neue kostenpflichtige Dienstleistung.

